

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Energetické zdroje mobilních robotů

Power Sources for Mobile Robots

Autor:

Radim Stanek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ján Babjak

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Stanek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: Energetické zdroje mobilních robotů
Power Sources for Mobile Robots

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši dostupných energetických zdrojů mobilních robotů.
2. Vypracujte zásady péče o jednotlivé zdroje (nabíjení, provozní cykly, teplotní rozsahy, údržba)
3. Navrhněte konstrukci integrovaného dobíjecího systému MR.
4. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému Pro/ENGINEER.

Seznam doporučené odborné literatury:

ARENDÁŠ M., RUČKA M. :*Nabíječky a nabíjení*, Praha: BEN - technická literatura, 112 s. ISBN: 80-86056-61-9

KAMEŠ J.:*Alternativní pohon automobilů*, Praha: BEN - technická literatura, 232 s. ISBN: 80-7300-127-6

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha : Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ján Babjak**

Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 9. 2010

.....
Radim Stanek

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 9. 2010

.....

Radim Stanek

Na Březích 557
Dolní Benešov
747 22

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STANEK, R. *Energetické zdroje mobilních robotů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2010, 57 s. Vedoucí práce: Babjak, J.

Bakalářská práce se zabývá energetickými zdroji mobilních robotů. V úvodu bakalářské práce je seznámení se s možnými zdroji energie, které lze u mobilních robotů využít. Nejpoužívanějšími zdroji jsou akumulátory, které poskytují mobilním robotům elektrickou energii, bez které by na nich nefungovalo spoustu periférií, které mobilní roboty využívají. Dále je uvedeno jak se o tyto zdroje starat, aby poskytovaly svůj výkon co nejdéle. Nedílnou součástí je nabíjení těchto zdrojů, na jehož základě bylo zadáno navržení integrovaného dobíjecího systému mobilních robotů. Navrženy byly tři varianty, z kterých byla vybrána dle hodnotové analýzy ta optimální. Tato varianta je vypracovaná v CAD systému Pro/ENGINEER, jehož výsledkem je 3D model dobíjecí stanice.

ABSTRACT OF BACHELOR THESIS

STANEK, R. *Energetic sources of mobile robots: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2010, 57 pages. Supervisor: Babjak, J.

The bachelor thesis deals with energetic sources of mobile robots. In the introduction, possible sources of energy that could be used for mobile robots are highlighted. The most utilised sources are accumulators, which supplies the robots with electrical energy. Without this energy, many of the robot's peripherals would not function. Further, it is mentioned how to maintain these sources for their enhanced performance. An integral part is charging these sources, based on which the design of integrated charging system of mobile robots was assigned. Three alternatives were designed and the optimal alternative was chosen based on the value analysis. This alternative is projected in the CAD system Pro/ENGINEER, which results in a 3D model of the charging station.

Obsah

Seznam použitých pojmů	1
1. Úvod.....	2
2. Energetické zdroje mobilních robotů	3
2.1 Pohonné hmoty.....	3
2.2 Fotovoltaický článek	5
2.3 Elektrochemické zdroje elektrické energie	6
2.3.1 Primární články	7
2.3.2 Sekundární články	10
2.3.3 Palivové články	14
3. Zásady péče o jednotlivé zdroje	16
3.1 Ni-HM a Ni-Cd akumulátory	16
3.2 Olověné akumulátory	17
3.3 Nikl-železné a stříbro-zinkové akumulátory	17
4. Nabíjení akumulátorů.....	18
4.1 Metody ukončení nabíjení Ni-Cd a NI-MH akumulátorů.....	20
4.2 Rychlost nabíjení.....	22
4.2.1 Podstata rychlého nabíjení	22
4.3 Nabíječe.....	24
5. Návrh integrovaného dobíjecího systému mobilního robotu	26
5.1 Současný stav	26
6. Varianty řešení	28
6.1 Varianta A	28
6.2 Varianta B	30
6.3 Varianta C	32
7. Hodnotová analýza.....	33
8. Konstrukční řešení optimální varianty C	35
8.1 Princip dobíjecího systému	36

8.2 Části dobíjecí stanice.....	38
8.2.1 Dobíjecí konektor	38
8.2.2 Kompenzátor	39
8.2.3 Vnitřní uspořádání dobíjecího konektoru.....	42
8.2.4 Dobíjecí základna.....	44
8.2.5 Výkonový nabíjecí modul	47
8.2.6 Čtečka čárového kódu	48
8.3 Spojení konektoru se základnou.....	49
9. Identifikace akumulátorů.....	51
10. Blokové schéma	52
11. Výroba a montáž	53
12. Ekonomické zhodnocení	54
13. Závěr.....	55
Použitá literatura	56
Seznam příloh.....	57

Seznam použitých pojmů

- Elektromotorické napětí – napětí nezatíženého článku, ke kterému není připojen žádný spotřebič.
- Svorkové napětí – napětí zatíženého článku, z kterého je odebírán proud, je vždy menší než elektromotorické napětí.
- Kapacita článku – je to hodnota udávající součin vybíjecího proudu a celkového vybíjecího času. Čím vyšší má článek kapacitu, tím déle dokáže zásobovat elektrickou energií.
- Vnitřní odpor – odpor vodivých součástí galvanického článku.
- Samovybíjení – jev, kdy ztrácí galvanický článek svou energii, když není napojen na žádný přístroj, který by jej vybíjel.
- Paměťový efekt – vzniká nesprávným dobíjením akumulátorů, pokud se nabíjí, když není ještě zcela vybit. Zkracuje se tím jeho výdrž. Nejčastěji postihuje Ni-Cd akumulátory a v menší míře Ni-MH akumulátory.
- Aktivní hmota – je materiál, který při vybíjení článku dodává prostřednictvím chemické reakce elektrickou energii a nabíjením se vrátí do svého původního stavu.
- Záporná elektroda – je při vybíjení katodou a při nabíjení anodou. Aktivní hmotou zde je reaktant, který se při vybíjení článku oxiduje a uvolňuje elektrony.
- Kladná elektroda – je při vybíjení anodou a při nabíjení katodou. Aktivní hmotou je reaktant, který při vybíjení článku uvolněné elektrony přijímá, a tudíž se redukuje.
- Elektrolyt – je látka v tekuté nebo pevné fázi, která obsahuje pohyblivé ionty s kladným nábojem (kationty) a ionty se záporným nábojem (anionty). Má iontovou vodivost a svou přítomností v článku umožňuje vedení proudu.
- Separátor – je materiál se strukturou propustnou pro ionty, zajišťuje izolaci mezi elektrodami různé polarity.
- Balancer – srovnávač napětí jednotlivých článků na stejnou úroveň, brání přebíjení akumulátorů hlavně typů Li-pol.

1. Úvod

Není tomu tak dávno, kdy pohon všemožných dopravních prostředků zajišťoval kůň, jiné zvíře nebo dokonce i lidé samotní. Zdroj energie zajišťovala voda a jídlo. Tehdy nebyla jiná možnost. To se změnilo s příchodem vědy a techniky, kdy lidé začali vynalézat převratné stroje, které byly schopné zajistit pohon díky přeměně různých druhů energií v mechanickou práci, kterou je pak možno dále přenášet na další soustavu, či přímo využít. Ať se jedná o parní stroj, spalovací motor, elektromotor či jiné stroje, jedno mají společné a to že k jejich chodu je potřeba energie. Tuto energii je potřeba odněkud získat a poté do konkrétního stroje dopravit.

Zadáním mé bakalářské práce je řešit energetických zdrojů mobilních robotů, péče o tyto zdroje a jako konstrukční část návrh integrovaného dobíjecího systému mobilních robotů. Nejprve se seznámíme s různými zdroji energie, které jsem uvedl ve všeobecném přehledu. Jelikož se má konstrukční část týká dobíjecího systému, moje hlavní zaměření je tedy na elektrické energetické zdroje. V dnešní době je elektrická energie ze všech nejpoužívanější a do budoucna se bude její využití neustále zvyšovat. Konkrétně mobilní roboty si bez elektrické energie snad ani nelze představit. Dává těmto zařízením „život“, který lidem pomáhá při různých činnostech, které mohou být pro člověka nebezpečné. Elektrická energie má oproti jiným řadu výhod, krom pohonu potřebného k pohybu, například zásobování energií různá čidla, senzory, kamery, servomotory a jiné elektrinou napájené součásti. Elektrickou energii lze také akumulovat a pro tuto úlohu slouží zařízení schopné tuto energii v sobě uchovávat. Dále se seznámíme podrobněji s těmito zdroji, probereme jednotlivé druhy a zásady péče.

V konstrukční části jsem vypracoval systém nabíjení mobilních robotů, který je dle hodnotové analýzy z celkem tří variant optimální. Návrh obsahuje popis funkce celého systému, seznam potřebných komponent, sestavný výkres včetně návodu k sestavení a také celkové náklady.

2. Energetické zdroje mobilních robotů

Existuje několik druhů energetických zdrojů, které lze u mobilních robotů využít. Příklady některých z nich jsou uvedeny níže.

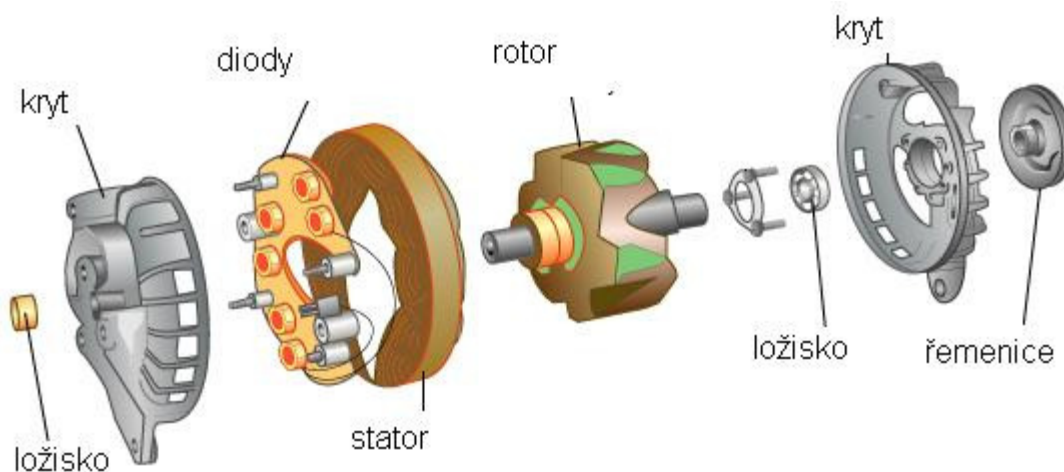
2.1 Pohonné hmoty

Jsou to látky, které se používají k pohonu tepelných motorů. Nejčastěji jde o směs uhlovodíků v kapalném, nebo plynném skupenství. U těchto látek se při jejich použití mění chemická energie na pohybovou. K tomu je potřeba stroj pro převod této energie. Lze je rozdělit do skupin na:

- **motory s vnějším spalováním**
 - Stirlingův motor
 - parní stroj
- **motory s vnitřním spalováním**
 - čtyřdobý motor
 - dvoudobý motor
 - Wankelův rotační motor
 - pulzační motor
 - spalovací turbína
 - raketový motor

Tyto motory se liší v principu konání pohybů jejich částí a v druhu použité pohonné hmoty poskytující jim potřebnou energii k jejich chodu. Jedná se především o plynná nebo kapalná paliva, v některých případech také tuhá paliva. Nejčastěji to jsou benzín, nafta, petrolej, zemní plyn, propan-butan a další.

Použití těchto druhů paliv u mobilních robotů je v jisté míře omezené, jelikož jejich hlavní využití je převedení chemické energie v pohybovou, hlavně tedy k pohybu mobilních robotů. Jsou také závislá na přístupu vzduchu umožňující jejich hoření. Mobilní roboty jsou z naprosté většiny závislé na elektrické energii, kterou lze z mechanického pohybu přeměnit za pomoci alternátoru, který přemění mechanickou energii v elektrickou. Alternátory bývají většinou napojeny na hřídel stroje, která vykonává rotační pohyb. Alternátor převádí rotační pohyb na elektrickou energii díky svému složení a vytváří v něm rotující magnetické pole, indukující ve vinutí cívky elektrický proud [11].



Obr. 1 Části alternátoru

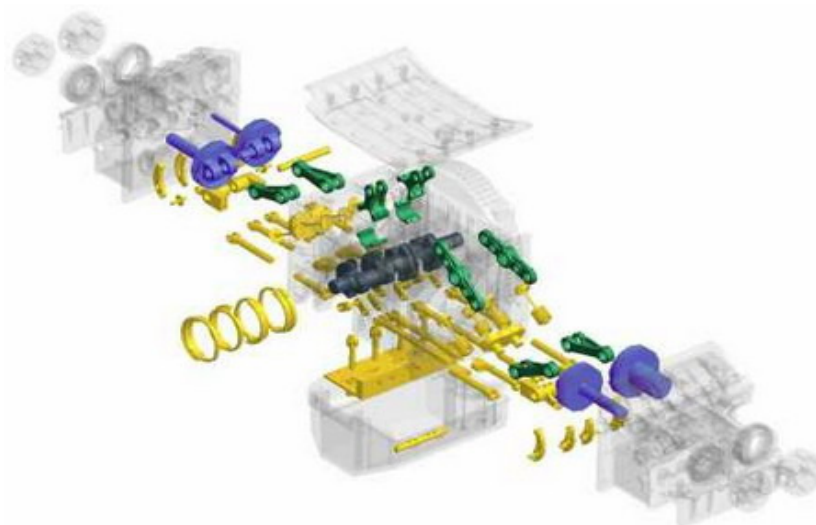


Obr. 2 Alternátor

Alternátory jsou součástí výbavy téměř všech dopravních prostředků, u kterých je potřeba elektrické energie. Zdroje energie z pohonných hmot je výhodný v tom, že palivo je možno načerpat během několika vteřin a není problém doplnit jej také za běhu.

Dalším zdrojem energie může být také stlačený vzduch. Ten se uchovává natlakovaný v nádržích. V první fázi motor nasaje přes otevřený ventil vzduch z okolí a poté jej pohybem pístu do horní úvratě stlačí na několikanásobný tlak, který zvýší jeho teplotu zhruba na 400 °C. Speciální kliková hřídel zastaví píst v horní úvrati, zatímco se kliková hřídel otočí o 70°. Při kompresi se vytvoří vzduchová komora o stejném objemu stlačeného a zahřátého vzduchu. Nyní je nad píst vstřikován chladný vzduch z nádrže a při styku s

horkým vzduchem dochází k zahřívání a expanzi. Píst se díky tomu rozpohybuje a ten pak klikovou hřídel uvede do rotačního pohybu.

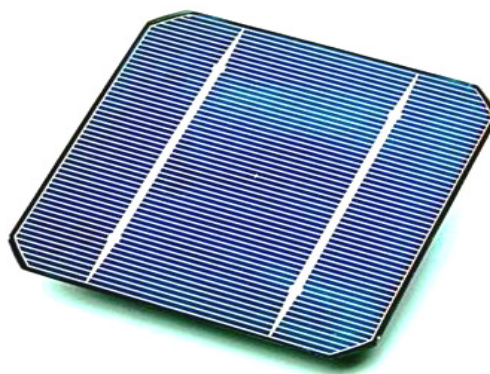


Obr. 3 Motor na stlačený vzduch

Stejně tak jako u motorů na pohonné hmoty, je také u motorů na stlačený vzduch převedena použitá energie na rotační pohyb. Lze je principiálně srovnat a hodí se také především pro pohyb. K dalšímu převodu mechanické energie na elektrickou se také používá alternátor.

2.2 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek je polovodičová součástka měnící světlo na elektrickou energii, využívající k této přeměně fotovoltaický jev. Při fotovoltaickém jevu jsou uvolňovány elektrony z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření. Fotovoltaický článek je dnes do značné míry omezen svou účinností, kdy přeměnění určité procento dopadajícího světla na elektrickou energii. Dnešní fotovoltaické články mají účinnost pohybující se v rozmezí 10 až 16 %. Z jejich principu vyplývá, že jsou závislé na dodávce světla. Technologický pokrok v tomto odvětví se ovšem neustále zlepšuje a některé typy jsou schopné na elektrickou energii převést širší světelné spektrum, stoupá také jejich účinnost.

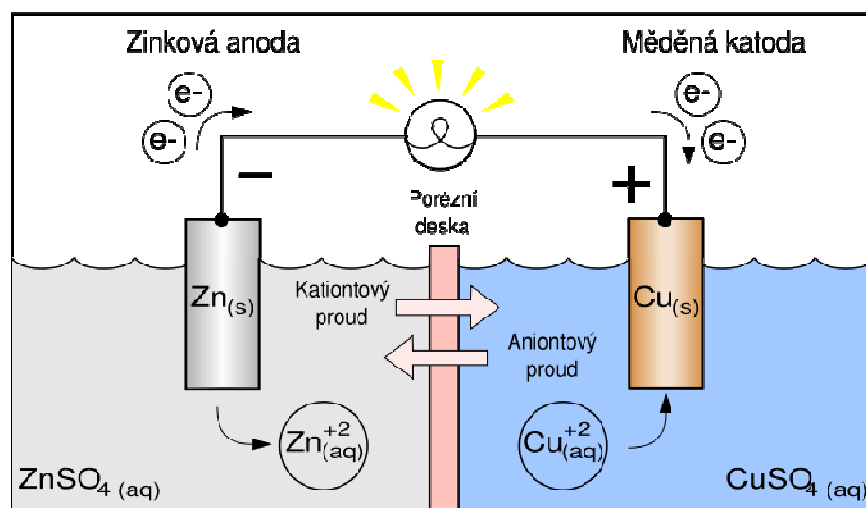


Obr. 4 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek použitý jako zdroj energie je do velké míry omezen. Sám o sobě dodává dostatečnou energii pouze při vhodných podmínkách. Jeho použití je vhodnější v kombinaci s jiným zdrojem elektrické energie, který jej nahradí v případě zhoršených podmínek, nebo při nedostatečném výkonu samotného fotovoltaického článku [3].

2.3 Elektrochemické zdroje elektrické energie

Elektrochemické zdroje elektrické energie jsou zařízení k přeměně chemické energie v energii elektrickou. Jejich princip je založen na chemické reakci, která probíhá při jejich vybíjení, při níž dochází k uvolňování energie v podobě elektrického stejnosměrného proudu. Historicky první stálý zdroj elektrického proudu sestavil Alessandro Volta, jednalo se o tzv. galvanický článek skládající se z měděné a zinkové elektrody ponořené do roztoku kyseliny sírové. Dával napětí cca 1 V.



Obr. 5 Galvanický článek

Elektrochemický zdroj se skládá z jednoho až několika článků, kdy jeden tento článek poskytuje napětí přibližně od 0,5 do 4V. Články lze složit sériově, nebo paralelně. Při sériovém zapojení získáme skládáním článků vyšší napětí, které je rovno součtu napětí jednotlivých článků. U paralelního zapojení zůstává hodnota napětí stejná jako má jeden článek, získáme ale vyšší kapacitu, která se rovná součtu kapacit jednotlivých článků.

Galvanické články dělíme podle principu a funkce na:

- **primární články** - obecně se těmto článkům říká baterie, tyto články lze použít jen jednou, po jejich sestavení poskytují okamžitý zdroj elektrické energie. Po jejich vybití jsou dále již jako zdroj elektrické energie nepoužitelné
- **sekundární články** - nazýváme je akumulátory, mají schopnost akumulovat elektrickou energii, tyto články lze po jejich vybití znovu nabít, v závislosti typ od typu snesou v řádech stovky až tisíce nabíjecích cyklů
- **palivové články** - potřebují ke svému chodu palivo, které lze do tohoto systému dodávat nepřetržitě, tudíž mají teoreticky neomezenou dobu činnosti

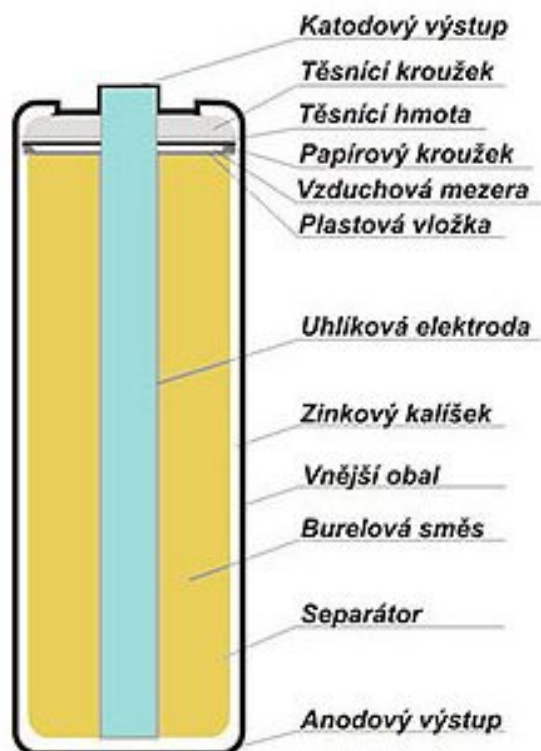
Pozn.: Za jistých okolností lze nabít i některé primární články, naproti tomu se i akumulátory mohou použít jen pro jedno vybití.

2.3.1 Primární články

Primární články ač jsou určeny převážně k jednomu použití, mají i dnes své opodstatnění. Při jejich relativně nízké ceně se hodí do přístrojů s nízkým odběrem elektrické energie, a tak velmi dobře poslouží v mnoha případech. Například baterie v hodinkách, nebo na základních deskách počítačů vydrží se svými zásobami elektrické energie i několik let. Velmi dobře také odolávají samovybíjení.

Zinkochloridový článek

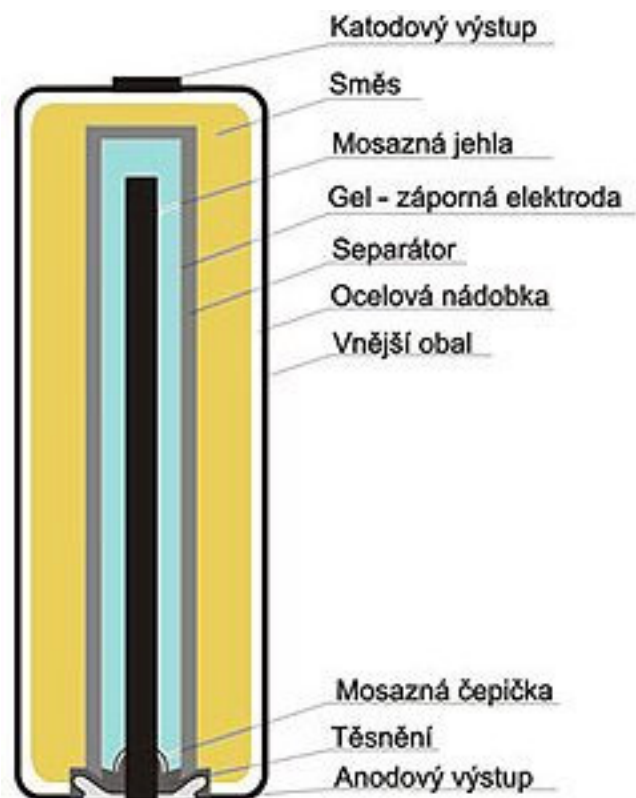
Záporný pól tohoto článku tvoří zinková nádoba, jejíž vnitřek je pomoci separačního papíru oddělen od směsi uhlíku a burelu. Do této směsi je zatlačen uhlíkový kolík, na kterém je nasazena kovová čepička. Ta tvoří kladný pól. Jako elektrolyt je u tohoto typu použit roztok chloridu zinečnatého, který tvoří součást směsi pro kladnou elektrodu. Tato sestava je zalita hmotou bránící přístupu vzduchu dovnitř baterie, poté je opatřena ochranným obalem, nejčastěji kovovým. Jmenovité napětí zinkochloridového článku je 1,5V.



Obr. 6 Zinkochloridový článek

Alkalický článek

U tohoto článu je kladným pólem ocelová nádobka, do které vsazena směs uhlíku a burelu. Doprostřed této směsi je vložen louhem nasycený separátor a do něj váleček záporné elektrody, v níž je zaražena mosazná jehla. Princip tohoto článu je stejný jako u zinkochloridových. Alkalický článek má také vyšší kapacitu, než zinkochloridový. Jmenovité napětí u tohoto článu je stejné jako u předchozího typu, tedy 1,5V.



Obr. 7 Alkalický článek

Lithiový článek

Zápornou elektrodu zde tvoří vysoce reaktivní lithium, u kladné elektrody je možností více a liší se pak jmenovitým napětím. Kladná elektroda může být například směs SOCl_2 , v jiném případě MnO_2 . Mezi kladnou a zápornou elektrodou dochází při vybíjení k elektrochemické reakci. Výhodou tohoto článku jsou možné vysoké proudové odběry a poměrně vysoká kapacita podobně jako u alkalických článků. Horší je to s cenou, která je poněkud vyšší, než u alkalických, nebo zinkochloridových článků.

Toto jsou 3 základní typy primárních článků. Můžeme se setkat také s jinými druhy, lišící se v použité směsi elektrod.

Článek	Klidové napětí (V)	Střední napětí (V)
Leclanchéův burelový	1,65	1 - 1,2
Alkalický burelový	1,6	1,1 - 1,3
Rtuťový	1,35	1,1 - 1,3
Zinkovzdušný	1,35	1,1
Stříbrozinkový	1,7 - 1,8	1,3 - 1,5
Lithiový	3,6	2,6

Tab. 1 Přehled primárních článků a jejich napětí

2.3.2 Sekundární články

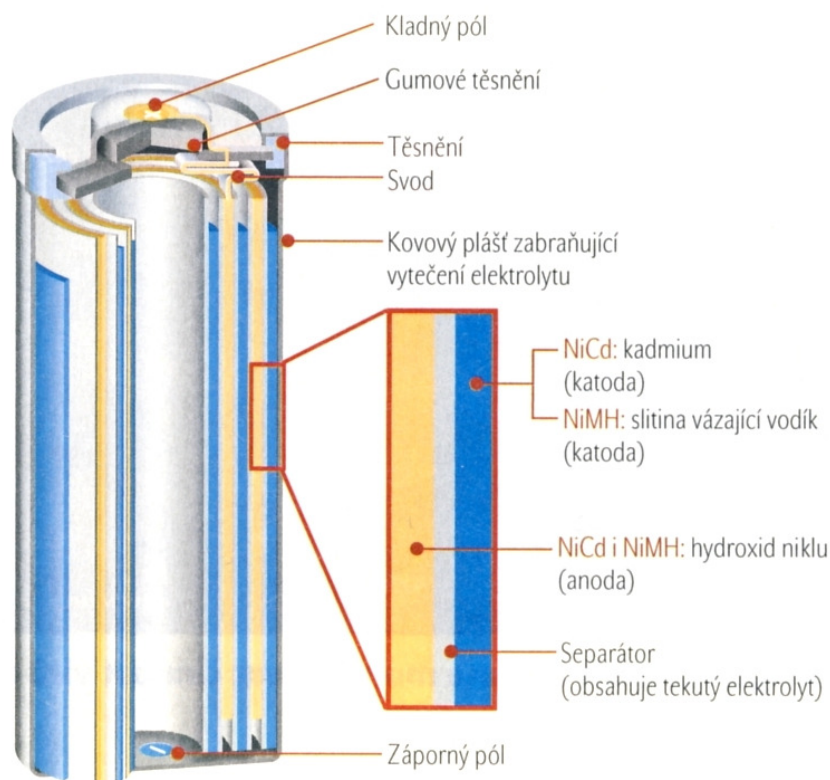
Tyto články jsou známé spíše pod pojmem „akumulátory“, díky jejich schopnosti se opakovaně nabíjet mají velké uplatnění u přístrojů s velkými proudovými odběry, resp. vybití článku během krátké doby. Díky tomu je jejich použití nejenom levnější, ale také výhodnější například u přístrojů, kde je špatný přístup k výměně těchto zdrojů (v případě že je vyřešeno jejich nabíjení bez nutnosti vyjmutí článků). Totéž souvisí s možností přímé integrace sekundárních článků do různých strojů a zařízení. Použití těchto článků v mobilní robotice je názorným příkladem.

Niklkadmiový akumulátor

Niklkadmiový akumulátor je složen ze tří vrstev. Kladnou elektrodu tvoří hydroxid niklu, zápornou kadmium. Tyto jsou odděleny separátorem obsahující elektrolyt hydroxid draselný. Elektrody jsou spojeny s kladným a záporným pólem. Jejich výhoda oproti jiným typům je vyšší proudová zatížitelnost a také schopnost pracovat až do -15°C . Snesou také rychlé nabíjení. Tento typ akumulátoru má oproti jiným menší kapacitu, trpí paměťovým efektem, má sklon k samovybíjení a v neposlední řadě vyšší hmotnost. O tyto články se je nutno správně starat, jinak mohou nesprávným nabíjecím a vybíjecím cyklem ztrácet svou kapacitu. Jmenovité napětí poskytuje 1,2V.

Niklmetalhydridový akumulátor

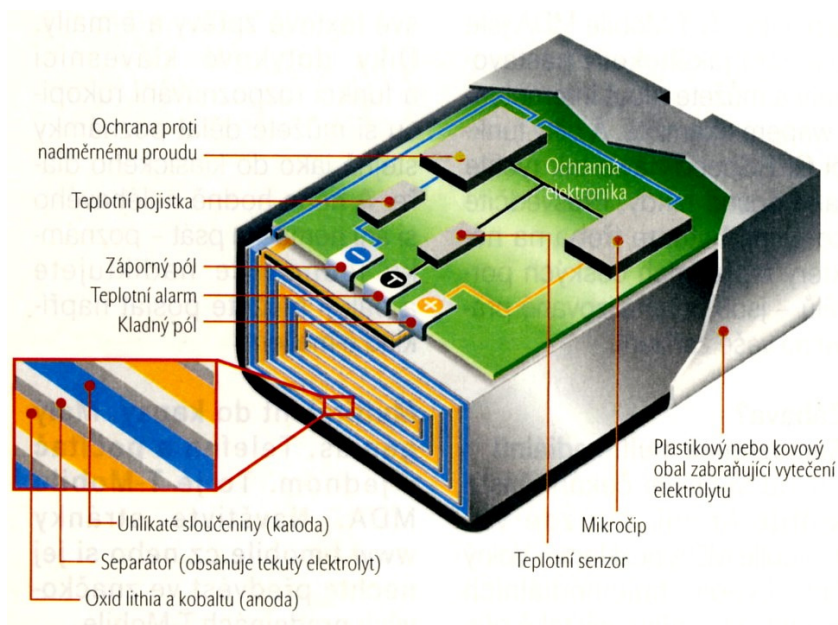
Má podobnou stavbu jako niklkadmiový akumulátor, jsou ovšem použity jiné ekologičtější materiály. Kladná elektroda je tvořena hydroxidem niklu ale záporná elektroda z kovové slitiny schopné vázat vodík. Tyto vrstvy jsou odděleny také separátorem z elektrolytu obsahující hydroxid draselný. Rozdíl oproti předchozímu typu je v záporné elektrodě z kovové slitiny, jež nahradila kadmium, které je jedovaté. Tyto články mají při stejné hmotnosti zhruba dvojnásobnou kapacitu oproti niklkadmiovým, mají také sklon k samovybíjení, ovšem výrobci již tento jev potlačili na takovou úroveň, že ještě po roce má nabitý akumulátor stále ještě velký dostatek elektrické energie. Jmenovité napětí poskytuje 1,2V.



Obr. 8 Složení niklmetalkadmiového a niklmetalhydridového akumulátoru

Lithium – iontový akumulátor

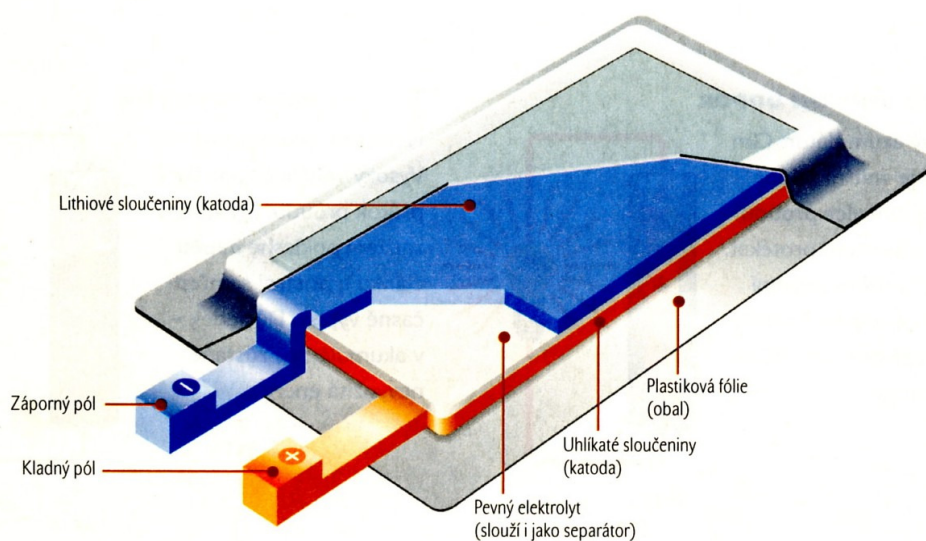
Kladnou elektrodu tvoří většinou lithiumpkobaltový oxid do jehož krystalové mřížky jsou vpraveny ionty lithia. Záporná elektroda je pak sloučenina uhlíku a grafitu také obsahující lithiové ionty. Elektrolyt obsahuje organická rozpouštědla propylen, nebo ethylenkarbonát. U tohoto typu hrozí vytečení elektrolytu, proto je tento akumulátor uzavřen v kovovém obalu. Tento typ je většinou opatřen elektronikou hlídající teplotu při nabíjení. Oproti niklkadmiovým akumulátorům, mají při stejné velikosti asi třikrát vyšší kapacitu, netrpí paměťovým efektem. Někdy mohou mít omezenou životnost, i když jenom leží v nezátíženém stavu. Díky reaktivnosti lithia se sám od sebe rozkládá. Lithiové akumulátory stále více nahrazují niklkadmiové a niklmetalhydridové akumulátory a to hlavně v mobilních telefonech a noutboocích. Jmenovité napětí poskytuje 3,7V.



Obr. 9 Složení lithium – iontového akumulátoru

Lithium – polymerový akumulátor

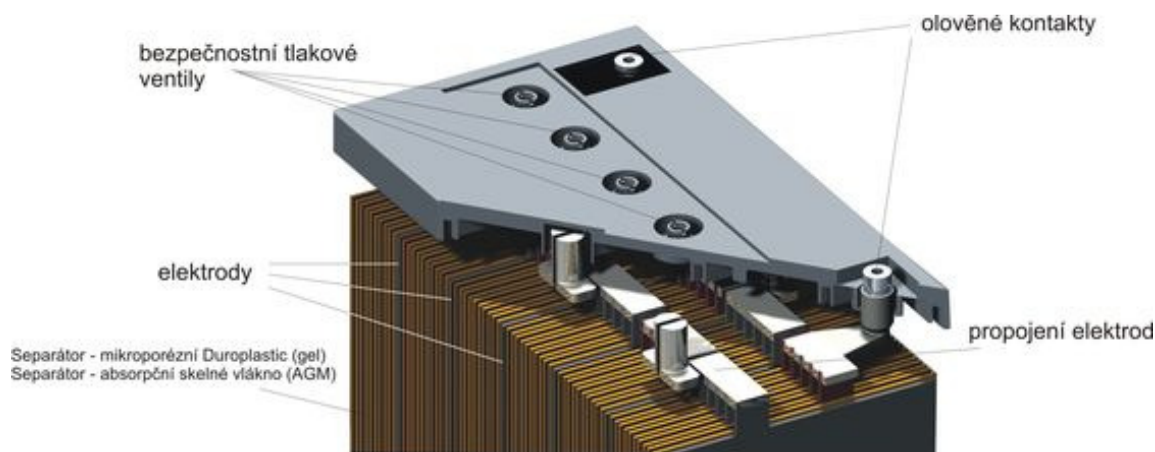
Kladná elektroda je složena z oxidu lithia a kobaltu nebo lithia, niklu a kobaltu, do jehož krystalické mřížky jsou vpraveny ionty lithia. Záporná elektroda pak ze sloučeniny grafitu. Tento typ akumulátoru používá místo tekutého elektrolytu pevný, díky kterému nemůže vytéct. Není potřeba tedy pevného obalu a může být vyroben velmi tenký, dokonce i v různých tvarech. V porovnání s lithium – iontovým akumulátorem je při stejné kapacitě zhruba o 15% lehčí ale asi o 10 objemnější a také je schopen pracovat při nižších teplotách. Paměťový efekt zde také odpadá. Jmenovité napětí poskytuje 3,7V.



Obr. 60 Složení lithium – polymerového akumulátoru

Olověný akumulátor

Elektrody u tohoto typu jsou vyrobeny z olova, jako elektrolyt je použita kyselina sírová. Tyto akumulátory se běžně používají v automobilech jako startovací zdroj elektrické energie. Mají vysokou kapacitu a jsou schopny snést vysoké proudové odběry. Jejich záporem je velká hmotnost a také nesnesou úplné vybití, při kterém dojde ke zničení tohoto akumulátoru. Jmenovité napětí poskytuje 2 až 2,2V.



Obr. 11 Složení olověného akumulátoru

Toto jsou základní a nejpoužívanější akumulátory, dále bych zmínil i jiné typy, se kterými se běžně nesetkáme. Jedná se například o niklželezný, niklzinkový, nebo stříbrozinkový akumulátor. S akumulátory souvisí také jejich nabíjení a správné zacházení, které jsou obsaženy v kapitole zásady péče o akumulátory [3], [4], [7], [8].

Nikl-železné akumulátory

V porovnání s Ni-Cd akumulátory jsou Ni-Fe odolnější proti přebíjení a hlubšímu vybíjení. Samovybíjení u Ni-Fe akumulátorů je vyšší než u Ni-Cd, z tohoto důvodu je jejich použití vhodné tam, kde dochází ke každodennímu nabíjení.

Výhody Ni-Fe akumulátorů:

- neobsahují toxické a nedostatkové kadmium
- jsou odolnější proti přebíjení a hlubšímu vybíjení
- jejich životnost je až 25 roků a až 4000 cyklů nabití-vybití

Stříbro-zinkové akumulátory

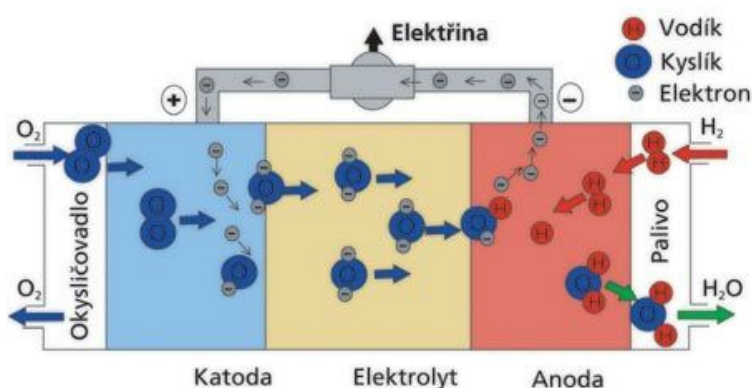
Vyznačují se velmi malým vnitřním elektrickým odporem, a jsou proto vhodné pro vybíjení velkými proudy. Nepoškozuji se ponecháním ve vybitém stavu, mrazem, ani náhodným zkratem. Díky své vysoké ceně jsou nahrazovány nikl-kadmiovými akumulátory.

Článek	U_N (V)	Provozní teplota max. (°C)	Samovybíjení (% za měsíc)	Počet nabíjecích cyklů	Měrná energie		Přibližná cenová relace
					(W·h/kg)	(W·h/dm ³)	
Ni-Cd	1,2	-10 až +50	25	1000	45	150	1
Ni-MH	1,2	-20 až +50	25	500	70	230	2
Li-Ion	3,7	-20 až +60	8	500	100	225	2,5
Pb-PbO ₂	2,0	-20 až +45	3	200	35	-	1

Tab. 2 Porovnání vlastností a parametrů vybraných typů akumulátorů

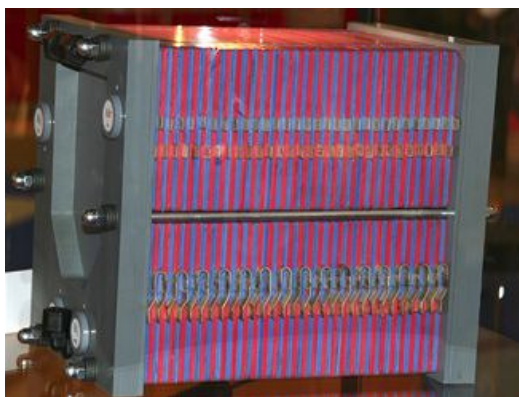
2.3.3 Palivové články

Palivové články jsou elektrochemické zdroje elektrického proudu a jejich princip je založen na chemické reakci mezi redukčním a oxidačním činidlem. Velikost proudové zátěže je závislá na dodávce těchto složek, které jsou spotřebovávány. Tento typ článku je schopen pracovat po neomezenou dobu, ta je závislá na doplňování potřebných složek. K anodě je přiváděno palivo a ke katodě okysličovadlo. Část s anodou a palivem je oddělena od části s okysličovadlem elektrolytu. Oxidační činidlo se na katodě redukuje na anionty kyslíku a ty reagují s ionty vodíku na vodu. Elektrody u těchto článků zůstávají pořád ve stálém stavu, ubývá zde pouze palivo a okysličovadlo.



Obr. 12 Schéma palivového článku

Jako palivo pro palivový článek se používá vodík, methanol, methan, roztok glukózy, nebo kyselina octová. Jako okysličovadlo bývá použit peroxid vodíku, nebo kyslík. Elektrody těchto článků jsou většinou kovové, nebo jsou použity uhlíkové nanotrubičky. Jmenovité napětí u těchto článků je 0,5 – 0,95 voltů, v závislosti na druhu použitého paliva. Ke zvýšení napětí se tyto články řadí do série.



Obr. 13 Palivový článek

Palivové články lze rozdělit podle:

- **provozní teploty**
 - nízkoteplotní (pod 150 °C)
 - středněteplotní (150 až 250 °C)
 - vysokoteplotní (550 až 1000 °C)
- **konstrukce**
 - krabicové
 - baterie s bipolárními elektrodami
- **použitého elektrolytu**
 - palivový článek s alkalickým elektrolytem (AFC)
 - palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC)
 - palivový článek s polymerní membránou (PEMFC)
 - palivový článek s tavenými uhličitany (MCFC)
 - palivový článek s tuhými oxidy (SOFC)

Vývoj palivových článků jde neustále kupředu, jejich využití do budoucna se předpokládá u automobilů, zatím je ale problém s nebezpečností skladování vodíku, jelikož ten je ve směsi se vzduchem výbušný [3].

3. Zásady péče o jednotlivé zdroje

U mobilních robotů se jako energetický zdroj v naprosté většině případů používá elektrická energie. Ta může být získávána zmíněnými typy, ovšem nejužívanějším jsou sekundární články neboli akumulátory. Tyto zdroje energie jsou schopny po jejich vybití získat sílu zpět a to prostým nabitím. K tomuto účelu slouží nabíječe akumulátorů, které se v mnoha vlastnostech liší. Jde především o jejich co nejkvalitnější způsob nabíjení, díky kterému jsou schopny akumulátory pracovat několik let a přitom být pořád na dobré úrovni poskytování energie. Správné zacházení a údržba jsou nedílnou součástí co nejvyšší životaschopnosti těchto energetických zdrojů. Jakým způsobem se o ně máme starat, se dozvíme v této kapitole.

3.1 Ni-HM a Ni-Cd akumulátory

Skladování:

Doporučuje se skladovat nezapojené články, nejlépe ve vybitém stavu při teplotách v rozsahu $+5$ až $+25^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti 60 až 70 %. Lze je ovšem skladovat i v různém stavu nabití při teplotě -40 až $+40^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti 45 až 85%. Před použitím uskladněných článků by se měly provést 2 až 3 cykly nabití a vybití aby se aktivní hmoty elektrod uvedly do plné činnosti. Pokud používáme akumulátory jen občas, nabíjíme je nejlépe před použitím, aby se plně využil dodaný elektrický náboj. Nabité a déle nepoužívané akumulátory ztrácejí elektrický náboj samovybíjením.

Údržba:

Kontrolujeme čistotu povrchu článků a kontaktů. Rovněž provádíme kontrolu kapacity článků a to vybíjením bez přerušení konstantním proudem $0,1 C_N(\text{A})$ do konečného napětí 1 V na článek. Články je potřeba setřídít podle dosažené kapacity a baterie sestavovat vždy z článků stejné kapacity. Výrobce sestavuje baterie z článků stejné kapacity, ale stárnutím se rozdíl v jejich kapacitě zvětšují. Dojde-li pak při vybíjení k výraznému poklesu napětí až k přepólování kapacitně nejslabšího článku, může článek následkem vývoje nerekombinovaného plynu explodovat.

Životnost:

Je závislá na konstrukci článků, provozní teplotě, velikosti nabíjecích a vybíjecích proudů, velikosti konečného nabíjecího napětí a konečného vybíjecího napětí a na tom, do

jakého poklesu kapacity jsou články využitelné. Současně je třeba počítat s určitým rozptylem kapacit od střední hodnoty, ke kterému stárnutím článků dochází.

3.2 Olověné akumulátory

Doplňování akumulátorů vodou:

- intervaly doplňování závisejí na typu a stáří akumulátorů, intenzitě jejich provozu, způsobu jejich nabíjení nebo trvalého dobíjení a na teplotě prostředí. Nedoplňují se pouze bezúdržbové akumulátory, ty bývají označeny symbolem přeškrtnuté láhve.
- intervaly doplňování vody je třeba volit tak, aby hladina elektrolytu neklesla pod dolní úroveň určenou výrobcem
- k plnění se používá pouze destilovaná voda
- voda, se doplňuje do jednotlivých článků v době, kdy nejsou nabíjeny ani vybíjeny
- články se doplňují vodou jen do úrovně určené výrobcem, aby nedošlo k vytečení elektrolytu z článků
- po doplnění hladiny elektrolytu se akumulátor nabíjí do plného nabití, aby došlo k promíchání elektrolytu

Čištění a konzervace:

Baterie je třeba čistit po doplnění článků vodou a během provozu v takových intervalech, aby zaprášený a vlhký povrch nádob, vík, pólů a spojek článků nebyl příčinou koroze a snížení izolačního odporu mezi články, pólovými vývody a spojkami nebo svorkami.

- povrch se opláchne čistou vodou a otře dosucha
- kovové části je třeba zbavit korozních produktů, nakonzervovat je a zkontrolovat dotažení spojek.

3.3 Nikl-železné a stříbro-zinkové akumulátory

Skladování:

Články se z pravidla skladují neformované, v suchém stavu (bez elektrolytu) a mají se ukládat ve svislé poloze v suché, tmavé místnosti o teplotě okolí -20 až +35°C.

Provoz a údržba:

Sestava článků v baterii musí obsahovat články stejné kapacity a stejného stáří. Při poklesu hladiny elektrolytu se elektrolyt doplňuje ve vybitém stavu. Povrch článků udržujeme suchý, čistý a kovové části nakonzervované.

4. Nabíjení akumulátorů

Důležitým článkem technologického procesu obnovení energie akumulátoru je kromě poctivosti obsluhy kvalita nabíječe. Akumulátor je vždy více poškozován špatným nabíjením než vybíjením. Špatně přizpůsobená kabeláž, kolísavé napětí v síti, zastaralá nabíjecí technika a nedostatečná kontrola nabíjecího procesu, včetně tvaru nabíjecí křivky, mají rozhodující vliv na dosažení konečných znaků nabití akumulátoru. Následkem nedostatečného nabíjení je postupné snižování kapacity akumulátoru, což v podstatě znamená zkracování jeho životnosti. Existuje několik kritérií pro zvolení nabíjecí techniky.

Rychlost nabíjení

Zkrácení nabíjecích časů, zejména v případě napájení manipulační techniky výrazně redukuje počty jednotlivých prostředků a tím i samostatných nabíječů.

Zrychlení nabíjecího procesu umožňuje:

- možnost využít větší nabíjecí proudy, společně s možností volby optimálního průběhu nabíjecí charakteristiky. Toto umožňují pouze nabíječe počítačovým řízením.
- vzduchování elektrolytu nabíjené baterie během nabíjecího procesu. Nabíječ musí být způsobilý ovládat přídatná vzduchovací zařízení. Baterie musí být od výrobce vybavena vzduchovacími trubičkami, zavádějícími vzduch na dno jednotlivých článků. Toto opatření zkracuje dobu nabíjení až o 30%. Někteří výrobci používají k promíchání elektrolytu také hluboký vybíjecí impuls, zařazený mezi několik nabíjecích impulsů.

Energetická účinnost

Účinnost současných moderních nabíječů by neměla být nižší než 90%. Optimum je okolo 93 až 95%. Při rostoucích cenách elektrické energie je tento faktor velice důležitý pro následný výpočet další ekonomie elektrických procesů a podstatně ovlivňuje

návratnost vložených investic. Další možnosti úspory elektrické energie je posunutí začátku nabíjení do ekonomicky výhodného časového pásma.

Korekce nabíjení a teploty

Největší vliv na zkrácení životnosti má hluboké vybití akumulátoru. Tento stav nelze ovlivnit nabíječem, a proto je výhradní záležitostí obsluhy. Přebíjením dochází k tzv. vyvaření baterie, doprovázené únikem obtěžujících aerosolů. Obecně platí, že při zvýšení teploty o 10°C, probíhá chemický proces dvakrát rychleji. Úměrně tomu dochází ke zkracování životnosti baterie. Proto je nutné volit nabíječ s možností přesných korekcí plynovacího napětí, optimálně i s možností korekce nabíjecího procesu. Zdroj by měl být regulovaný, procesem řízený a kromě teplotní korekce vybaven též kompenzací úbytku napětí na vodičích k baterii.

Nabíjecí charakteristiky

Základním rozlišujícím hlediskem nabíječů je způsob nabíjení daný nabíjecí charakteristikou přístroje. Tento údaj je zcela vypovídající o konstrukční úrovni nabíječe. Mezi nejjednodušší patří nabíječe s charakteristikami W, a to ve všech modifikacích.

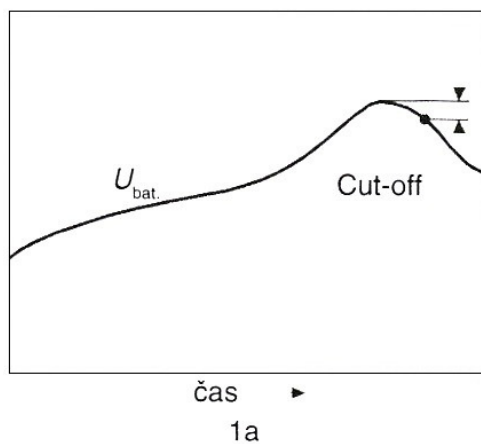
Druhy nabíjecích charakteristik podle norem:

- I** charakteristika konstantního proudu
- U** charakteristika konstantního napětí
- W** charakteristika klesající
- A** automatické vypínání
- O** samočinné přepínání na jinou charakteristiku

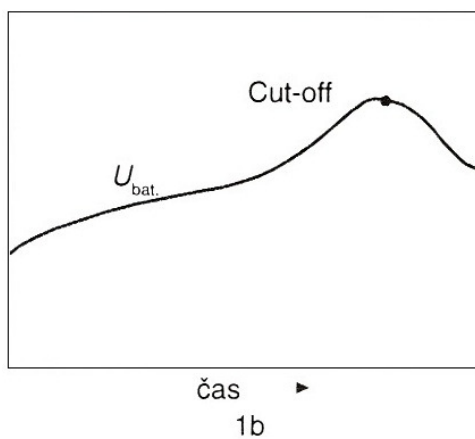
4.1 Metody ukončení nabíjení Ni-Cd a NI-MH akumulátorů

1. Napětové ukončení

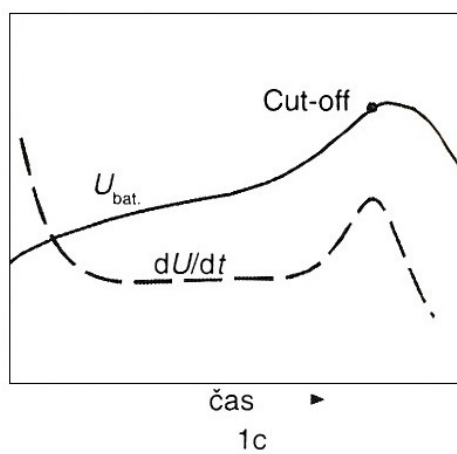
a) snímáním záporného poklesu napětí ($-dV$)



b) snímáním vrcholu napětí (PVK)

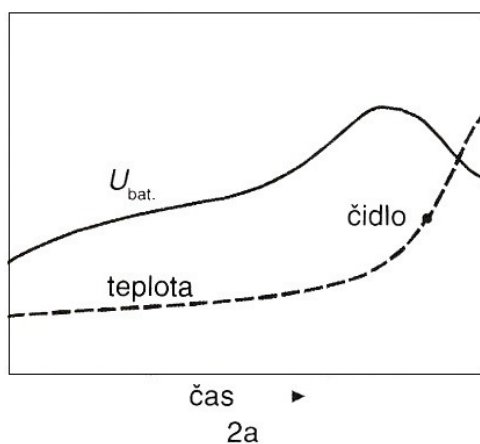


c) snímáním vrcholu druhé derivace napětí v čase (d^2U/dt^2)

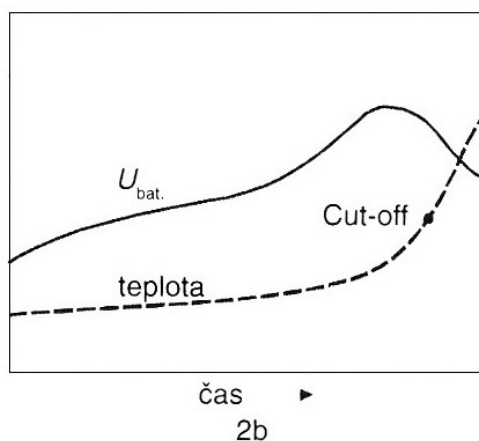


2. Teplotní ukončení

- a) snímáním teploty s vypínáním při dosažení předem určené teploty (TCO)

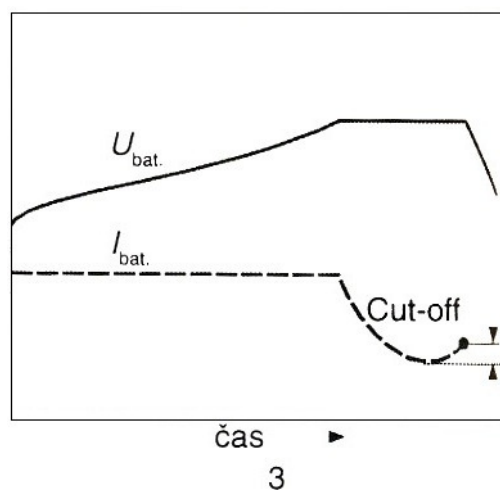


- b) snímáním vzestupu teploty jako funkce času ($\Delta v/\Delta t$)



3. Proudové ukončení

- akumulátor se nabíjí v charakteristice I konstantním proudem do dosažení předem určeného napětí, pak v charakteristice U konstantním napětím do vzestupu nabíjecího proudu.



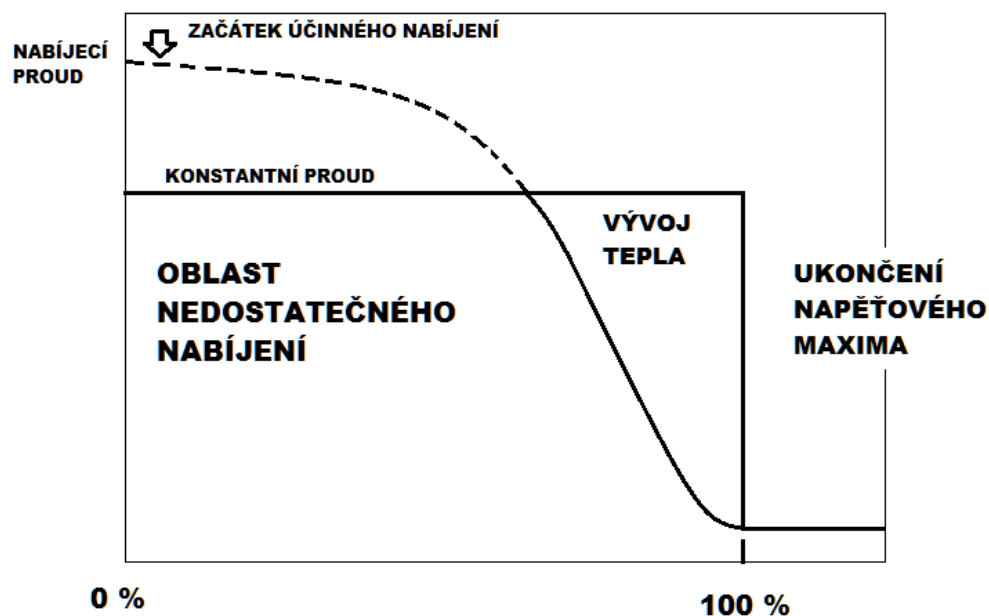
4.2 Rychlost nabíjení

Články Ni-Cd mají z uvedených elektrochemických soustav nejdelší životnost, jejich nedostatkem je přítomnost toxického kadmia v záporných elektrodách. Tzv. paměťový efekt způsobuje pokles kapacity při částečném vybíjení nebo nabíjení. Toto snížení kapacity odstraníme opakovaným vybitím na napětí 1,0 V/ článek a následujícím plným nabitím.

Články Ni-MH mají stejné jmenovité napětí a podobné průběhy nabíjecích a vybíjecích napětí jako články Ni-Cd. Stejně velké články mají přibližně o 100 % větší kapacitu, životnost Ni-MH článků je menší než článků Ni-Cd. Protože články Ni-MH mají vyšší kapacitu a neobsahují kadmium, je snaha nahrazovat jimi články Ni-Cd. Články Li-Ion jsou výhodné pro vyšší jmenovité napětí, umožňující sestavovat baterie z menšího počtu článků, pro větší měrnou energii ve $W \cdot h / kg$ a $W \cdot h / dm^3$ a také proto, že materiály článků nejsou toxické. Určitou nevýhodou je jejich vyšší cena, nutnost ochranných obvodů, aby nabíjecí napětí nepřestoupilo 4,1 V/ článek a vybíjecí napětí nekleslo pod 2,7 V/ článek. Životnost článků dosahuje asi 500 cyklů. Kromě prioritního požadavku na kvalitu nabíjecí techniky, vzniká tam, kde je to nutné a zejména ekonomicky zdůvodnitelné, další limitní požadavek krátkých nabíjecích časů. Kritériu rychlosti nabití nelze v současné době vyhovět jinak, než použitím nabíječů k tomuto účelu speciálně vyvinutých a určených. Zkrácení doby nabíjení umožňují zejména nabíječe s většími nabíjecími proudy a vhodně volenou nabíjecí charakteristikou, které jsou v podstatě středofrekvenční nebo vysokofrekvenční přístroje řízené mikroprocesorem, vybavené přesnými korekcemi nabíjecích parametrů a teploty. Při teplotní korekci je teplota akumulátoru snímána teplotní sondou, která ve spolupráci s řídícími obvody nabíječe dokáže při růstu teploty nad danou mez podstatně omezit nabíjecí proud nebo nabíječ vypnout. Další výhodou těchto nabíječů jsou zpravidla malá hmotnost, malé rozměry, ale zejména vysoká energetická účinnost.

4.2.1 Podstata rychlého nabíjení

Rychlé nabíjení akumulátorů spočívá ve spojitém sledování vnitřního elektrochemického stavu nabíjené baterie během nabíjecího procesu. Názorný průběh nabíjecí charakteristiky rychlého nabíjení je znázorněn na obrázku.



Obr. 14 Názorný průběh nabíjecí charakteristiky rychlého nabíjení

Na obrázku vidíme jednotlivé oblasti nabíjecí charakteristiky: oblast přebíjení (overcharge zone), odpovídá účinnému nabíjení Ni-Cd akumulátorů, kdy dodaný elektrický náboj se při velkých nabíjecích proudech (od 0,1 hodinového do 0,2 hodinového) účastní výlučně účinného nabíjení při trvalé kontrole hodnot napětí naprázdno měřeného během krátkodobého odpojení akumulátorů od nabíjení. Na nabíjecí charakteristice následuje oblast podbíjení (undercharge zone), v níž pokračuje účinné nabíjení sníženým nabíjecím proudem. Snížený nabíjecí proud zajišťuje, že se neuvolňují plyny a nevyvíjí se reakční teplo vlivem neúčinného přebíjení, jak by tomu bylo při běžném nabíjení konstantním proudem po celou dobu nabíjecího procesu.

Akumulátor použitý pro rychlé nabíjení by měl mít velmi malý vnitřní odpor, daný konstrukcí desek, jejich plochou, způsobem připojení k vývodním elektrodám a složením elektrolytu. K vnitřnímu odporu je nutné ještě připočítat odpor přívodních kabelů. Všechny tyto odpory způsobují tepelné ztráty, které ohřívají akumulátor, a tím přímo omezují maximální proud, kterým lze v daném okamžiku akumulátor nabíjet. Z těchto podmínek lze usoudit, že vhodným akumulátorem pro rychlonabíjení je ten, který má dostatečně robustní kontakty, dostatečný průřez propojek článků a zpevněnou konstrukci desek – zjednodušeně řečeno ten, který je konstrukčně přizpůsoben velkým nabíjecím proudům, kterými rychlonabíječe disponují. Nabíjet nelze akumulátory s vadnými články. V takovém případě se nabíjecí napětí musí rozdělit na menší počet ještě funkčních článků, což může vést k téměř okamžitému plynování zbylých dobrých článků, k jejich enormnímu ohřevu, a

pokud bude i nadále pokračovat nabíjecí proces, také ke zhoršení již beztak špatného stavu akumulátoru. Údržba akumulátoru pro rychlonabíjení se vlastně neliší od údržby akumulátoru pro normální nabíjení. Je nutné řídit se doporučeními výrobců, dbát na kvalitní připojení svorek a udržovat jejich čistotu. Nutnou součástí péče o akumulátory jsou jejich preventivní technické prohlídky.

4.3 Nabíječe

Nabíječe používané v ČR musí odpovídat příslušným technickým normám. V dnešní době se jedná převážně o mikroprocesorem řízené nebo mikroprocesorem kontrolované nabíječe, od přístrojů s nabíjecí charakteristikou W až po přístroje s charakteristikou IUa. Nejjednodušší nabíječe s charakteristikou W a jinými jejími modifikacemi umí na displeji (pokud jej obsahují) informovat uživatele o základních údajích o velikosti proudů a napětí, o době nabíjení, velikosti dodaného náboje a základních chybách na straně nabíječe, či nabíjeného akumulátoru.

Nabíječky můžeme rozdělit na:

- pomalé
- rychlonabíječky
- reflexní nabíječky

Pomalé nabíječky nabíjejí akumulátory slabým proudem a nabíjecí doba je u nich dlouhá a to až několik hodin. Rychlonabíječky nabíjejí akumulátory velkým proudem. Reflexní nabíječky posílají do akumulátoru místo konstantního proudu pulzující. Na 980 milisekund nabíjí, poté se na 5 milisekund vypne. Během dalších 5 milisekund se vybíjí asi pětkrát vyšším proudem než je dobíjecí a dalších 10 milisekund nabíječka kontroluje, jestli je již akumulátor nabitý. V případě že není, nabíjecí proces se opakuje.



Obr. 15 Počítačové řízená nabíječka

Většina nabíječek je schopna přejít po dobití do udržovacího režimu. Počítačové nabíječky navíc disponují funkcemi pro zlepšení výkonnosti akumulátorů, které už nejsou v dobré kondici. U nabíjení akumulátorů je důležité ukončení nabíjecího procesu, jinak by mohlo dojít ke zničení nabíjeného akumulátoru.

5. Návrh integrovaného dobíjecího systému mobilního robotu

Mým konstrukčním řešením byl návrh dobíjecího systému pro mobilní roboty. Jedná se o způsob dobíjení akumulátorů mobilního robotu elektrickou energií. Principiálně se jedná o to, aby robot byl schopen, v závislosti na jeho možnostech, najít dobíjecí základnu a dobít své akumulátory. V praxi jsou tato řešení zavedená u dnes již známých např. robotických sekaček a vysavačů. U takto řešených systémů se již nemusíme starat o jejich dobíjení, pokud jsou na automatické nabíjení naprogramovány.

5.1 Současný stav

V dnešní době se můžeme setkat i v domácnostech s roboty disponujícími integrovaným dobíjecím systémem, jimiž jsou převážně robotické sekačky na trávu nebo robotické vysavače. Bohužel jen zřídka, protože jejich ceny jsou prozatím v porovnání s klasickými ručními stroji vysoké. Je třeba ovšem zmínit, že v případě robotických sekaček a vysavačů se již nemusíme starat o to, kdo poseče zahradu, nebo vyluxuje koberce. O takového robotického pomocníka se v případě vysavačů až na vysypávání prachu nemusíte starat. Díky provozu na akumulátor nemusí být přímo kabelem zapojen v zásuvce a má tedy patřičnou volnost pohybu. Pokud takovému robotovi klesne energie pod potřebnou mez, sám si vyhledá dobíjecí stanici a automaticky si do ní zaparkuje, aby se mohl nabít.



Obr. 16 Robotický vysavač a jeho dobíjecí stanice

Robotické sekačky pak fungují obdobně. Dnešní robotické sekačky nepotřebují ani sběrný koš, tudíž posečenou trávu nemusíme nikam vysypávat. Posečenou trávu zatlačují do země, což slouží jako hnojivo pro půdu. Dobíjecí základna je napevno umístěna na vhodném místě a robotická sekačka si ji kdykoliv to potřebuje, najde. Robotické sekačky mají oproti vysavačům i trochu výhodu, jelikož lépe vybavené typy mají na sobě integrovány navíc fotovoltaické články. Díky těm může získávat energii také ze slunečního svitu.



Obr. 17 Robotická sekačka a její dobíjecí stanice



Obr. 18 Hybridní robotická sekačka s fotovoltaickými články



Obr. 19 Dobíjecí stanice

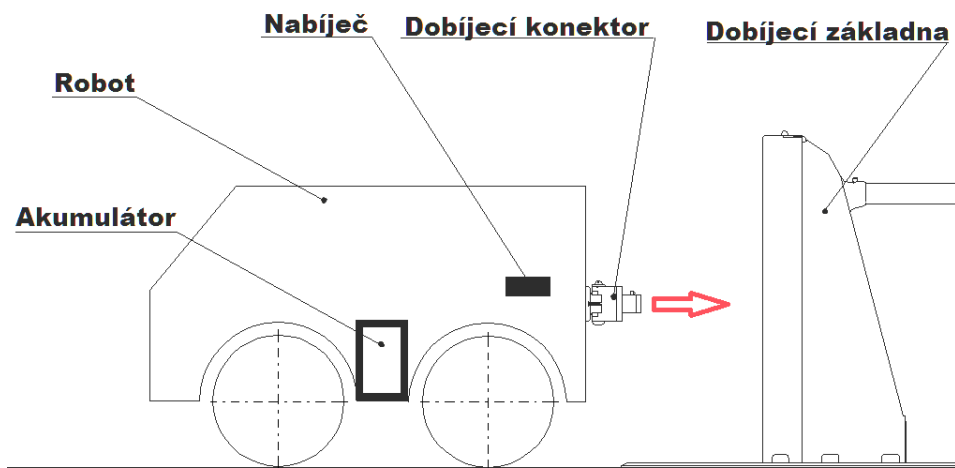
Konstrukčně jsem se zaměřil na podobné systémy dobíjení a na jejich základě jsem navrhl 3 varianty.

6. Varianty řešení

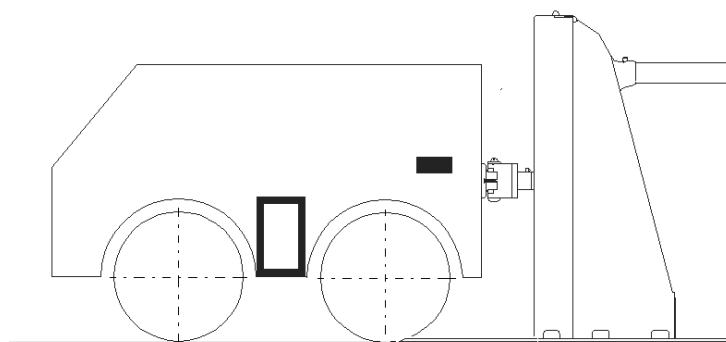
Při konstrukčním návrhu jsem se snažil o univerzálnost všech řešení a možnosti jejich použití pro mobilní roboty různých výšek, které prozatím žádným podobným autonomním způsobem nabíjení nedisponují.

6.1 Varianta A

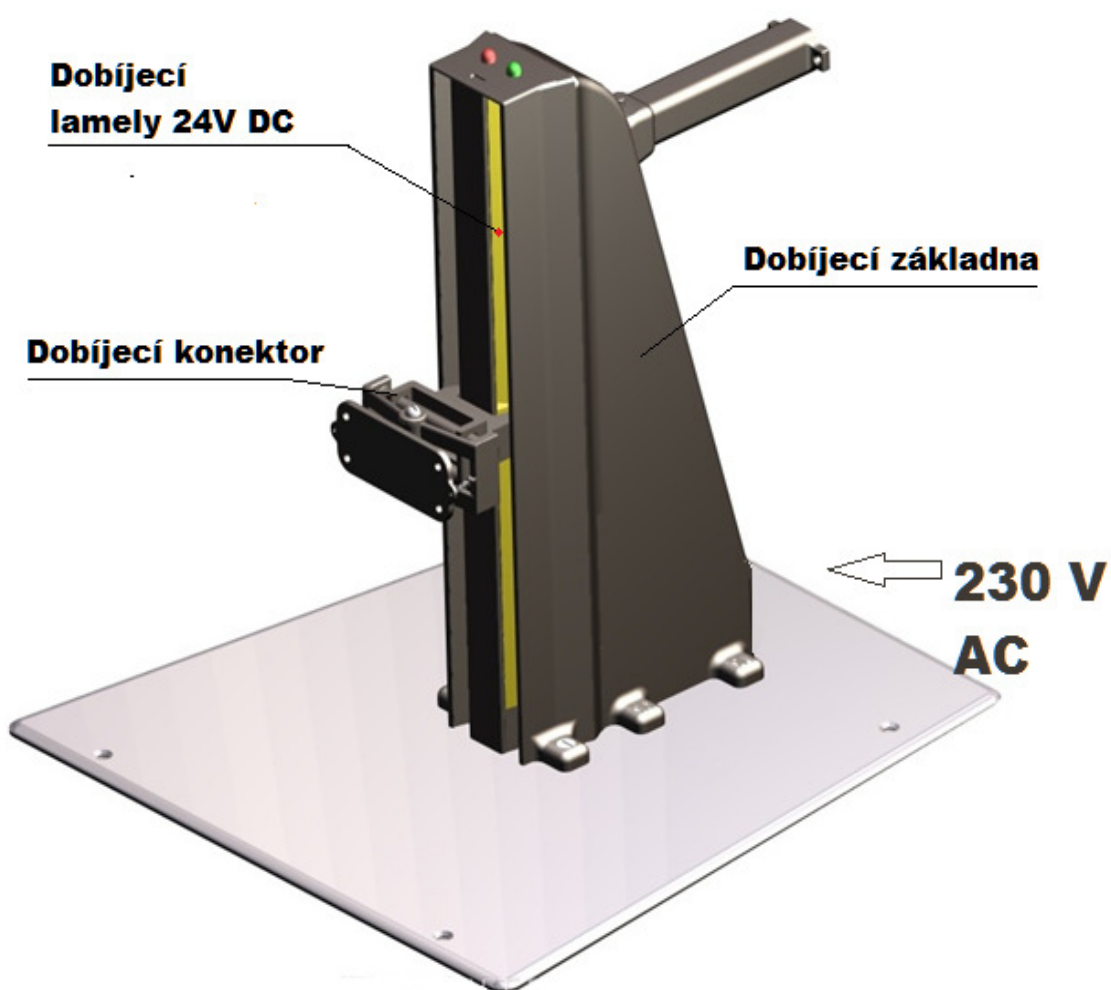
Varianta A je navržena ve sloupovém provedení a její hlavní prvky jsou dobíjecí základna, dobíjecí konektor a jednoduchý nabíječ. Dobíjecí základna v tomto případě slouží především jako transformátor síťového střídavého napětí 230 V, které je v ní převedeno na stejnosměrných 24V. Druhou částí celé dobíjecí stanice je dobíjecí konektor. Ten je jako samostatný prvek připevněn napevno na robota. Třetím prvkem je nabíječ, který je také součástí dobíjeného robota a je nastaven pro jeden daný typ akumulátoru, který robot obsahuje. U této varianty se budou použité nabíječe lišit podle toho, jakým typem akumulátoru daný robot disponuje. Nabíjecí proces začne po navedení robota do dobíjecí základny, na kterou se napojí díky dobíjecímu konektoru. Dobíjecí konektor obsahuje kontakty kladného a záporného pólu, které dosedají při spojení s kladnou a zápornou lamelou na dobíjecí základně. Spojení konektoru se základnou je zajištěno díky přizpůsobenému tvaru dobíjecího konektoru a tvaru přední části šasi do které konektor zapadá.



Obr. 20 Pozice robota těsně před dobíjením



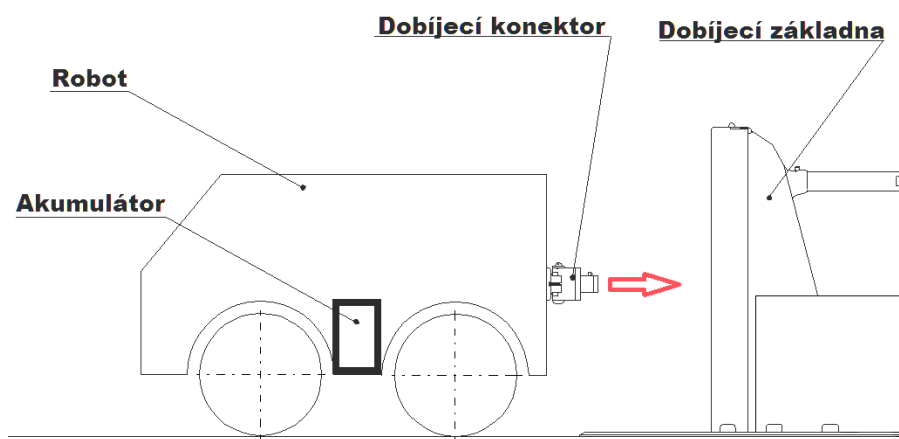
Obr. 21 Pozice robotu při nabíjení



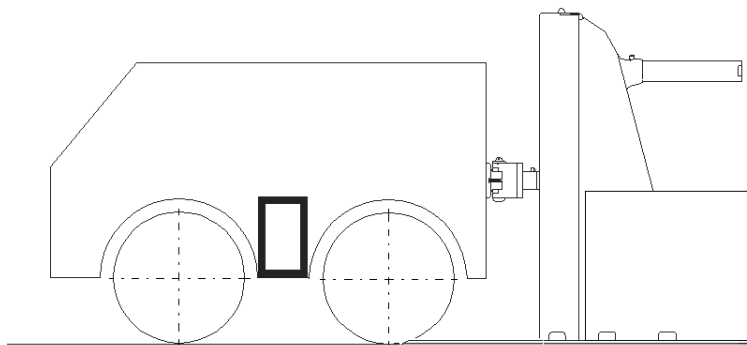
Obr. 22 Dobíjecí stanice – varianta A

6.2 Varianta B

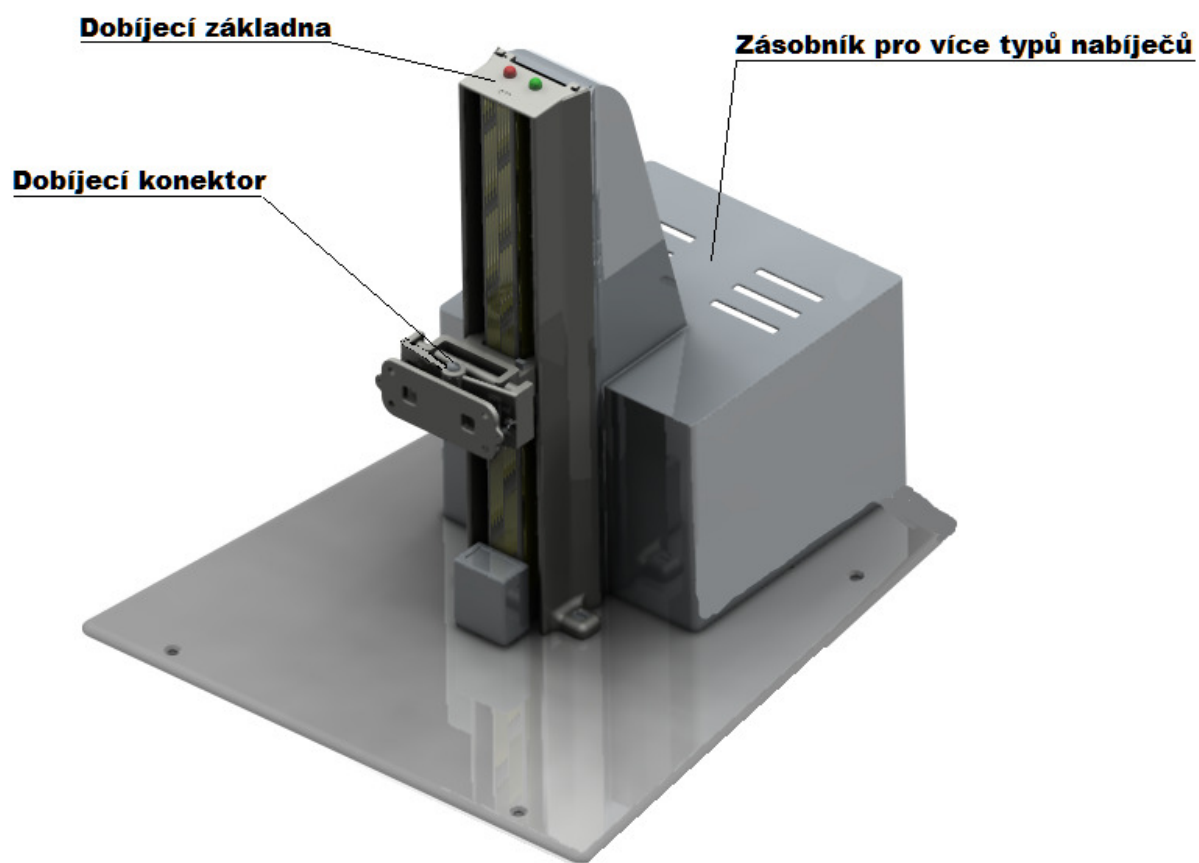
Tato varianta obsahuje pozměněnou zadní část šasi, která je přizpůsobená různým druhům nabíječů omezenými velikostmi zásobníku, do kterého se vybraný nabíječ umístí. Nabíječ u této varianty není součástí, je volen na základě potřeb dobíjených robotů. Dobíjecí základna má na sobě integrovány jak dobíjecí kontakty, tak kontakty balanceru. Robot se na ní připojí přes dobíjecí konektor, který je integrován na dobíjeného robota.



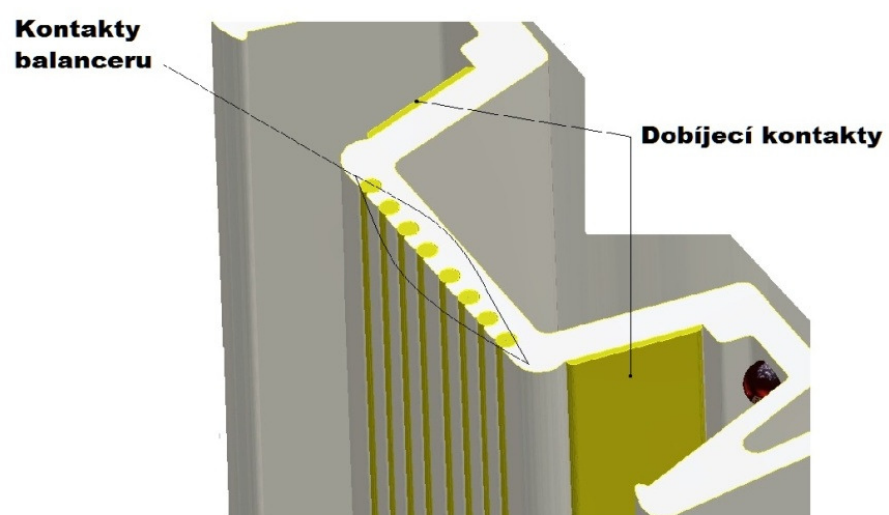
Obr. 23 Pozice robotu před dobíjením



Obr. 24 Pozice robotu při dobíjení



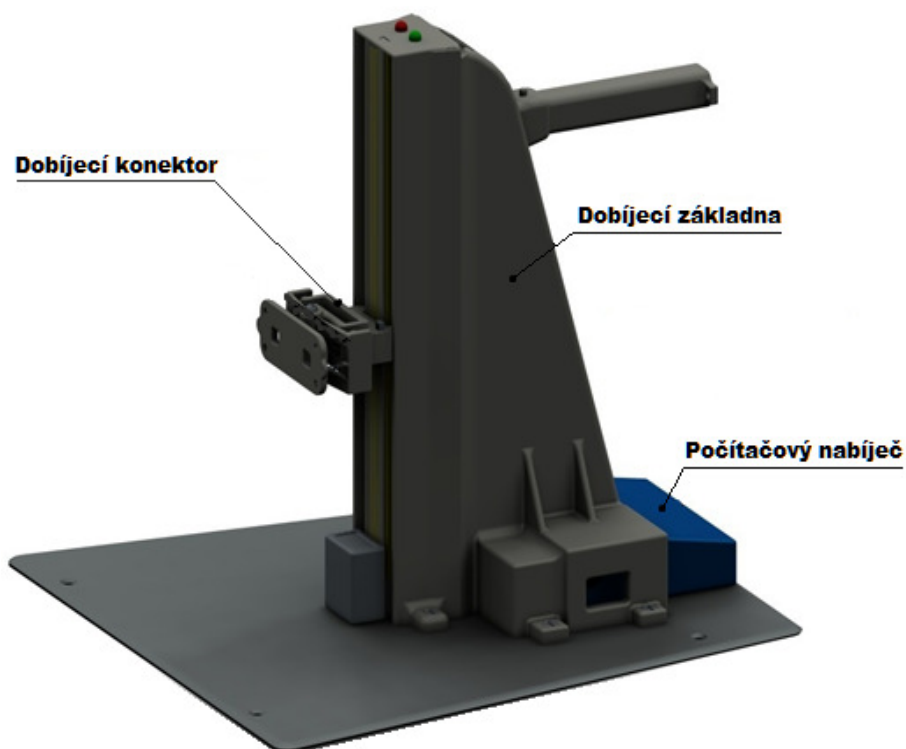
Obr. 25 Dobíjecí stanice - varianta B



Obr. 26 Řez dobíjecím sloupem

6.3 Varianta C

Tato varianta má konstrukčně pozměněnou dobíjecí základnu, ta obsahuje výkonový dobíjecí modul včetně řídicí elektroniky, která se stará o rozpoznávání a nastavení hodnot nabíjeného akumulátoru. Kromě dobíjecích kontaktů obsahuje základna také kontakty pro připojení balanceru, jež instalovaná nabíječka podporuje. Přes tyto kontakty je hlídání zajištěno u těch typů akumulátorů, které balancer vyžadují. K přenosu nabíjení a také hlídání hodnot přes balancer se stará opět nabíjecí konektor upevněný na robota.



Obr. 27 Dobíjecí stanice – varianta C

7. Hodnotová analýza

Na základě kritérií byla zhotovena hodnotová analýza, ze které vyplynulo optimální řešení.

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	<i>Univerzálnost použití</i>	Schopnost nabíjení více druhů akumulátorů
K2	<i>Složitost konstrukce</i>	Počet a složitost součástí, náročnost výroby
K3	<i>Možnosti nabíjení</i>	Kvalita nabíjení, nastavení parametrů
K4	<i>Složitost montáže</i>	Složitost smontování, časová náročnost pro smontování
K5	<i>Cena</i>	Výrobní náklady dílů a cena zařízení

Tab. 3 Charakteristika kritérií

Pro hodnocení variant v jednotlivých kritériích je použita pětibodová stupnice					
Úroveň	Nevyhovující	Nízká	Průměrná	Dobrá	Vysoká
Body	1	2	3	4	5

Tab. 4 Bodovací stupnice

Označení	Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
K1	<i>Univerzálnost použití</i>	3	4	5
K2	<i>Složitost konstrukce</i>	3	4	4
K3	<i>Možnosti nabíjení</i>	3	4	5
K4	<i>Složitost montáže</i>	2	4	3
K5	<i>Cena</i>	4	3	2

Tab. 5 Hodnoty kritérií variant

Porovnané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí	Váha významnosti (q)
K1	K1	K1	K1	3,5	1.-2.	1,7
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	0,5	4.-5.	1,1
	K3	K4	K5			
		K3	K3	3,5	1.-2.	1,7
		K4	K5			
			K4	0,5	4.-5.	1,1
			K5	2	3.	1,4

Tab. 6 Porovnání v trojúhelníku páru

Hodnocení jednotlivých variant

Varianta A			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria	Vážený index kritéria
K1	3	1,7	5,1
K2	3	1,1	3,3
K3	3	1,7	5,1
K4	2	1,1	2,2
K5	4	1,4	5,6
Součet vážených indexů varianty A:			21,3

Tab. 7 Hodnocení varianty A

Varianta B			
kritérium	hodnota	Váha významnosti kritéria	Vážený index kritéria
K1	4	1,7	6,8
K2	4	1,1	4,4
K3	4	1,7	6,8
K4	4	1,1	4,4
K5	3	1,4	4,2
Součet vážených indexů varianty B:			26,6

Tab. 8 Hodnocení varianty B

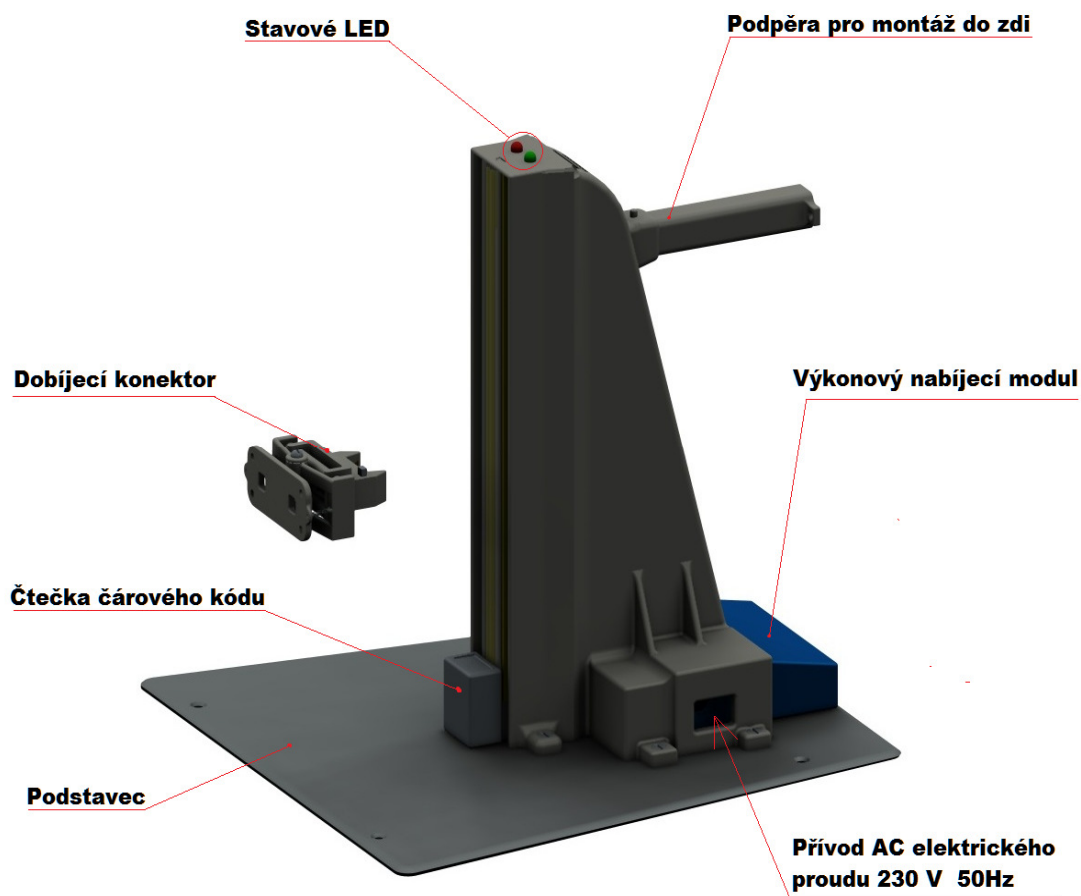
Varianta C			
Kritérium	hodnota	Váha významnosti kritéria	Vážený index kritéria
K1	5	1,7	8,5
K2	4	1,1	4,4
K3	5	1,7	8,5
K4	3	1,1	3,3
K5	2	1,4	2,8
Součet vážených indexů varianty C:			27,5

Tab. 9 Hodnocení varianty C

Na základě hodnotové analýzy dosáhla nejvíce bodů varianta C, a to především díky její univerzálnosti a možnostem.

8. Konstrukční řešení optimální varianty C

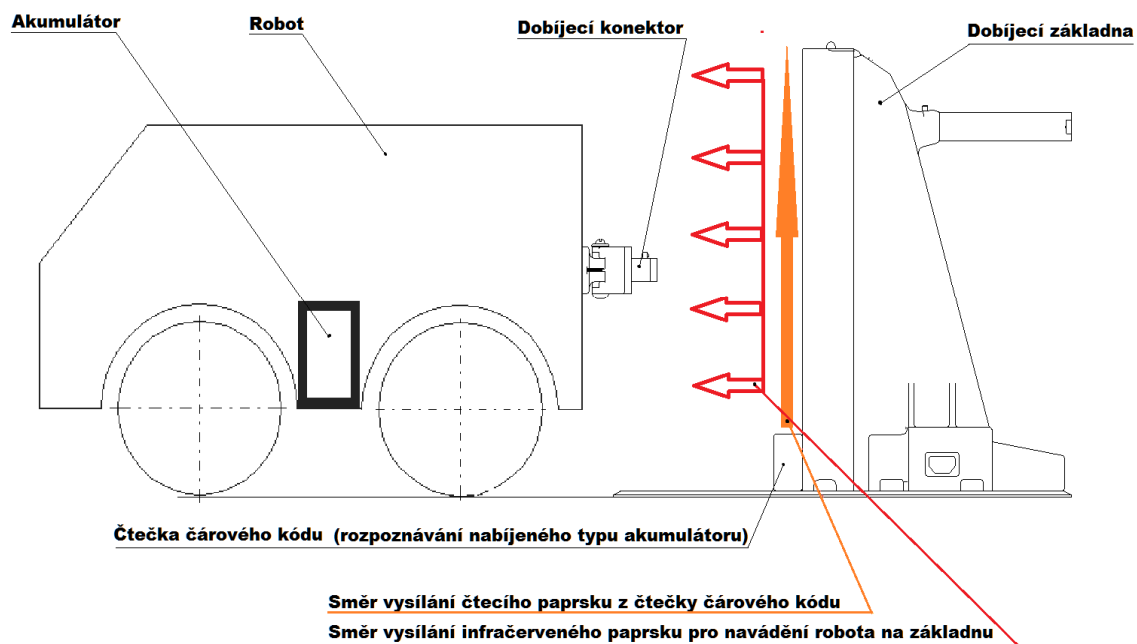
Dobíjecí stanice se skládá ze dvou dílčích částí, z nichž jednu tvoří dobíjecí základna a druhou dobíjecí konektor, který je zabudován na robotu. Dobíjecí konektor je vybaven nabíjecími kontakty a kontakty balanceru. Tyto kontakty jsou také na dobíjecí základně. Dobíjecí základna má v sobě zabudovaný výkonový dobíjecí systém, který se skládá z počítačové nabíječky a řídicího modulu. Celé šasi dobíjecí základny je vyrobeno z polykarbonátu a z něj také většina dalších částí a to za pomoci metody 3D tisku. Díky této metodě je možno vyrobit díly různých tvarů. Vodivé části jsou pak měděné. Jako podstava pro základnu je použita ocelová deska, z jejíž spodní strany je nalepena protiskluzová guma. Šasi základny je k ocelovému podstavci připevněno pomocí šroubů. V případě že by bylo nutné pevné zabudování základny, je ocelový podstavec vybaven dírami pro uchycení k zemi. Celou základnu lze pevně zakotvit a to jak do země, tak do zdi což zajistí podpěrný sloupek. Ten lze do zdi zakotvit napevno.



Obr. 28 Provedení optimální varianty C

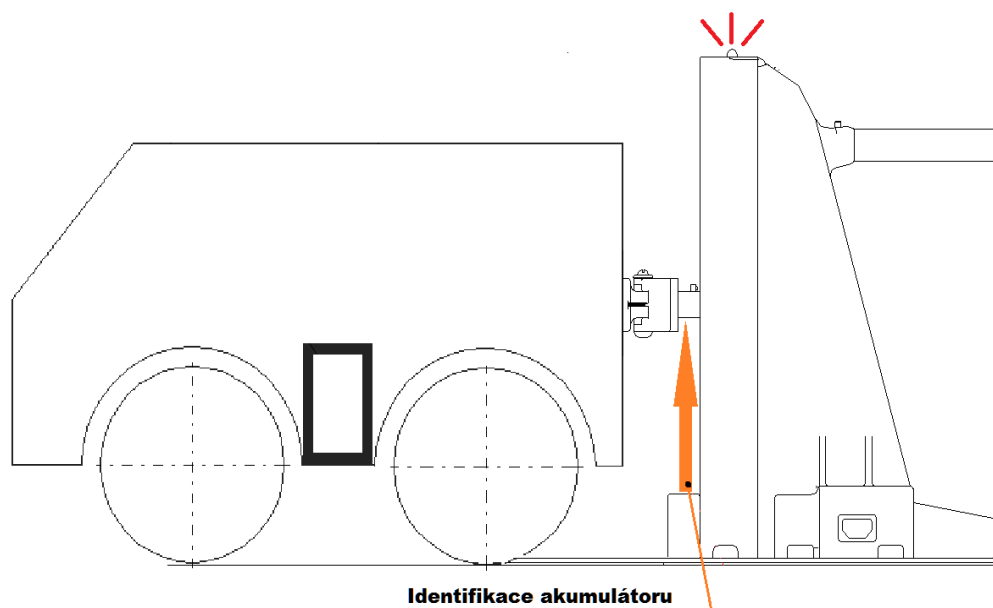
8.1 Princip dobíjecího systému

V případě, že robot bude potřebovat nabít své akumulátory, postupuje podle tohoto schématu. Robot vyhledá přibližné místo kde je dobíjecí základna umístěna. Dobíjecí základna vysílá infračervený signál pro přesné navedení robota do dobíjecí základny. Až se robot dostane do přímé viditelnosti se základnou, IR přijímač na konektoru umístěném na robotu vyhodnotí ve spolupráci s řídicím systémem robota situaci a začne robota navádět k dobíjecí základně.



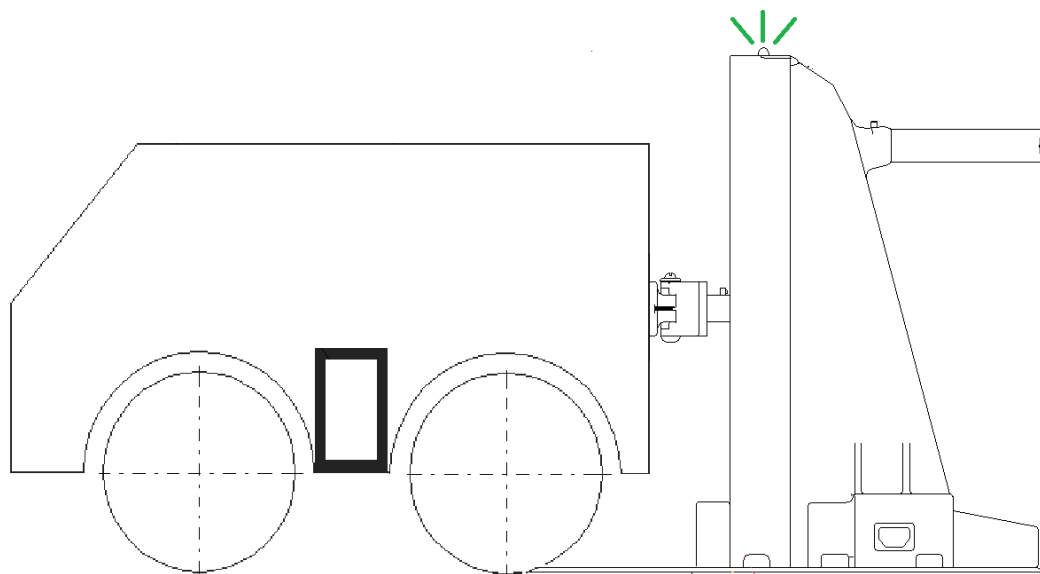
Obr. 29 Stav dobíjecí stanice před spojením robota s dobíjecí základnou

Po navedení robota k dobíjecí základně a po spojení konektoru s dobíjecí základnou dojde k identifikaci nabíjeného akumulátoru díky čtečce čárového kódu, který je umístěn na spodní straně dobíjecího konektoru. Po identifikaci nabíjeného akumulátoru nastaví řídicí modul v dobíjecí základně parametry pro počítačovou nabíječku a poté se spustí nabíjecí proces. Ten je doprovázen svícením červené LED umístěné na vrchní části dobíjecí stanice.



Obr. 30 Stav dobíjecí stanice – identifikace akumulátoru a nabíjení

Až se robot nabije, červená kontrolka zhasne a rozsvítí se zelená. V závislosti na naprogramování robota může takto setrvat připojený na základně v udržovacím režimu, a nebo se odpojí a může pokračovat ve svém úkolu.



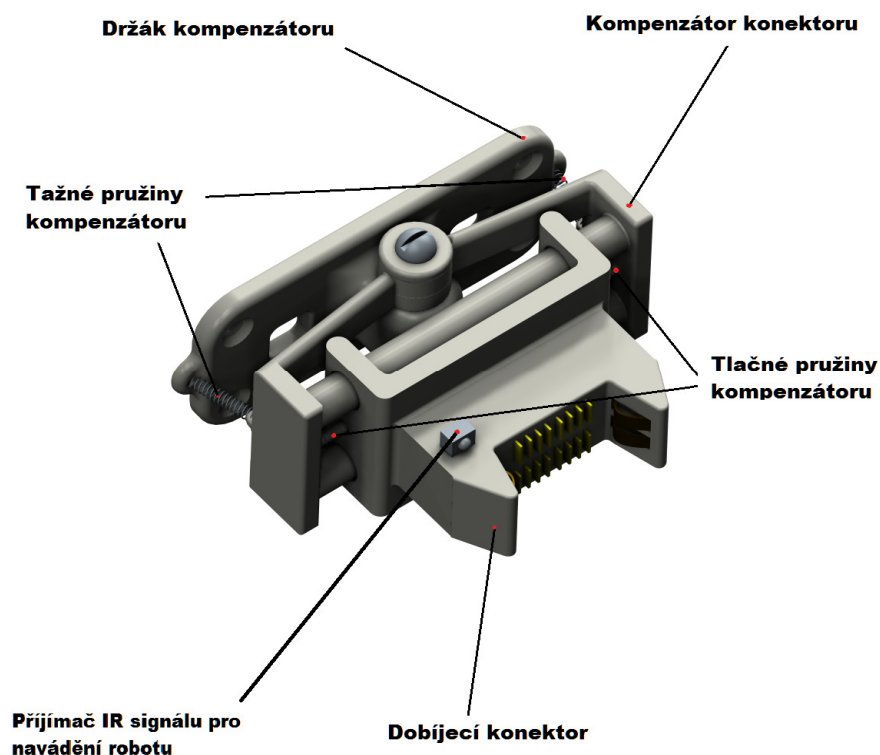
Obr. 31 Dokončení nabíjecího procesu – signalizace zelenou LED

8.2 Části dobíjecí stanice

Dobíjecí stanice se skládá ze dvou základních součástí. Dobíjecí základny a dobíjecího konektoru. Dobíjecí základna je položena na zemi a je připojena k elektrické síti. Dobíjení robota je realizováno díky druhé součásti a tou je dobíjecí konektor. Ten je napevno uchycen na dobíjeného robota. Dobíjecí konektor je tvarován tak, aby zapadl do dobíjecí stanice, pokud má být robot nabíjen.

8.2.1 Dobíjecí konektor

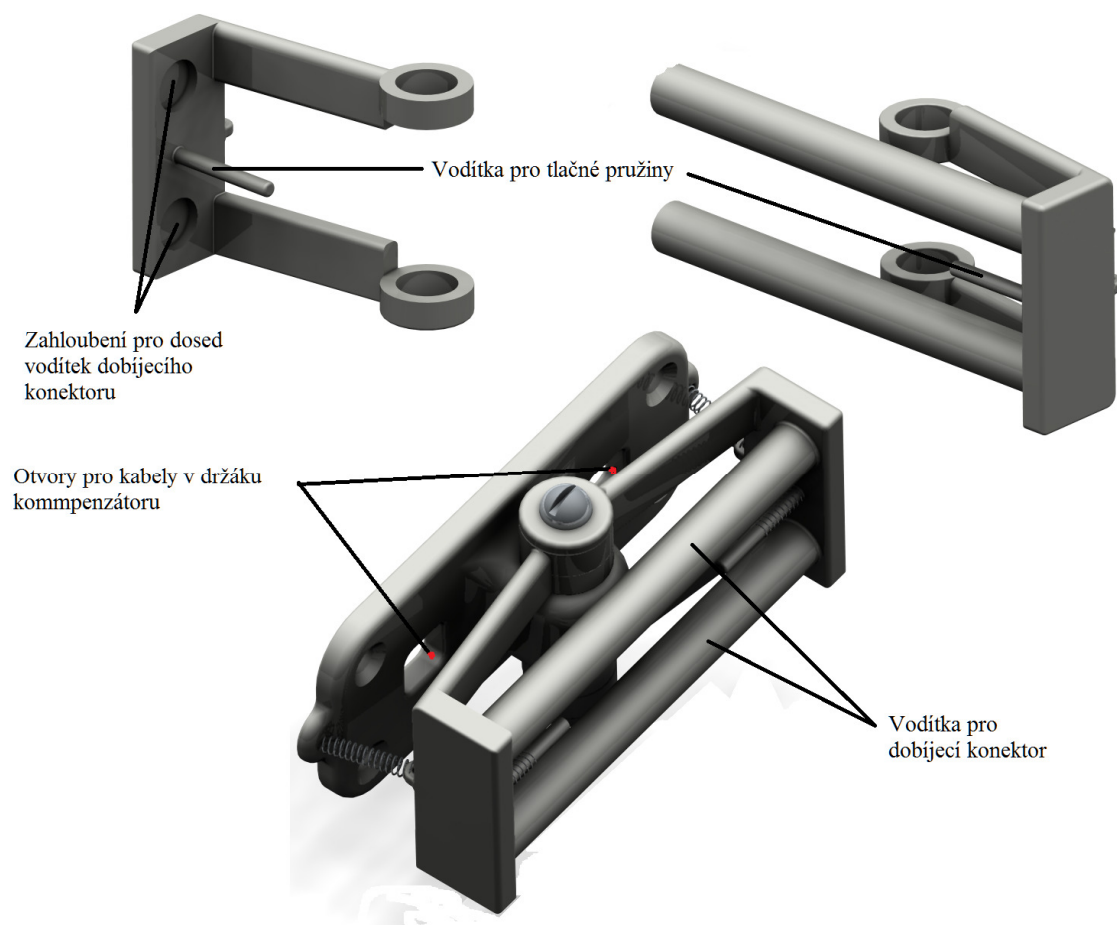
Základním stavebním prvek celého konektoru je držák kompenzátoru. Ten je díky němu napevno uchycen na každém robotu, který má být dobíjen. Na držáku kompenzátoru je tedy kompenzátor, který slouží k eliminaci případných nepřesností při dosedání konektoru do dobíjecí základny. Kompenzátor umožňuje naklopení o úhel a boční výchylku doprava, nebo doleva. Samotný dobíjecí konektor uchycený na kompenzátoru má v sobě integrovány 2 (zdvojené) kontakty pro dobíjení a 8 (zdvojených) kontaktů pro převod signálu balanceru. Kontakty jsou ukončeny tak, aby se na ně daly napojit kabely vedoucí k akumulátoru. Dále je na konektoru infračervený přijímač, díky kterému je robot naváděn na dobíjecí základnu. Zespodu konektoru je nálepka s čárovým kódem.



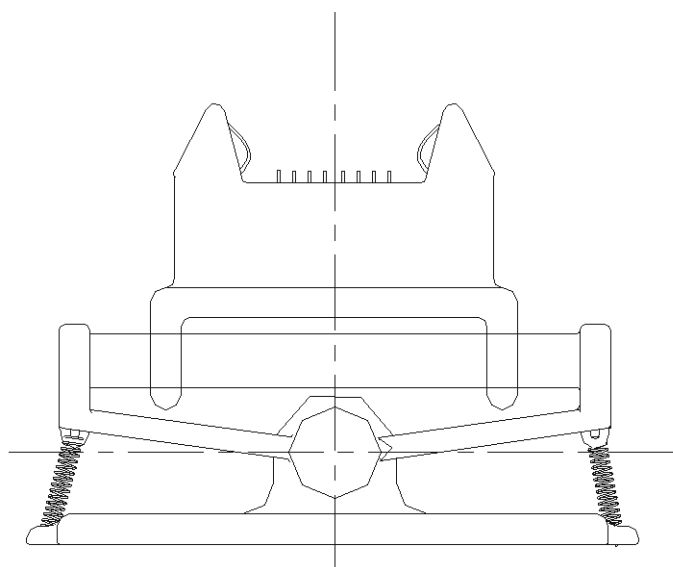
Obr. 32 Dobíjecí konektor

8.2.2 Kompenzátor

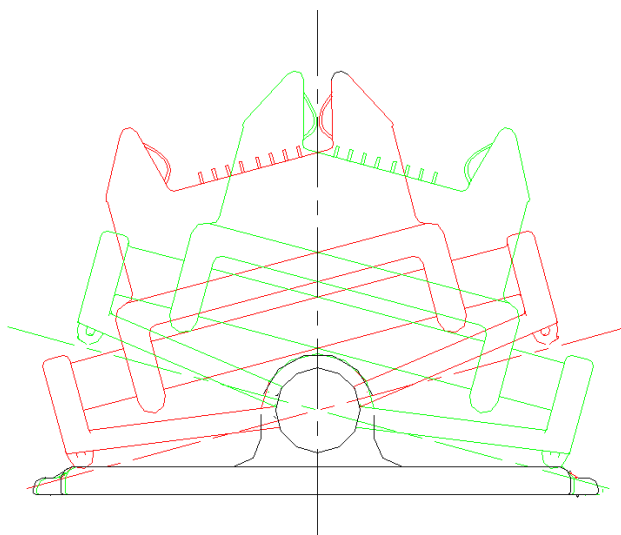
Aby došlo ke spojení dobíjecího konektoru se základnou i v případě mírné nepřesnosti v najetí robotu do dobíjecí základny, je konektor vybaven kompenzátorem. Ten umožňuje kompenzaci špatného úhlu najetí robotu do základny a nebo mírného nepřesného najetí napravo, nebo nalevo od dobíjecí základny. Konektor je schopen se naklopit o úhel $+15$, nebo -15 stupňů od osy držáku kompenzátoru a posunutí konektoru 8 milimetrů doleva, nebo doprava z jeho výchozí osy.



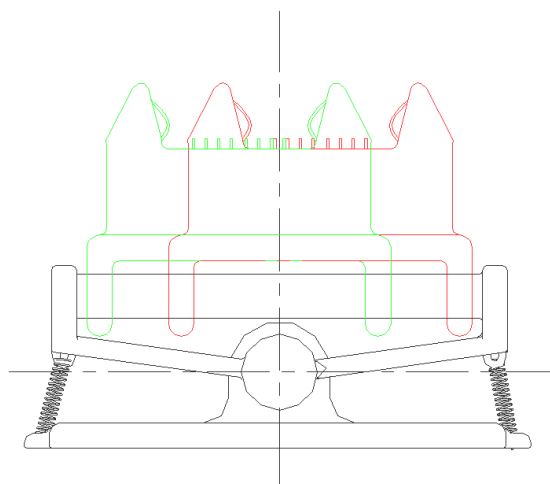
Obr. 33 Kompenzátor



Obr. 34 Výchozí poloha konektoru



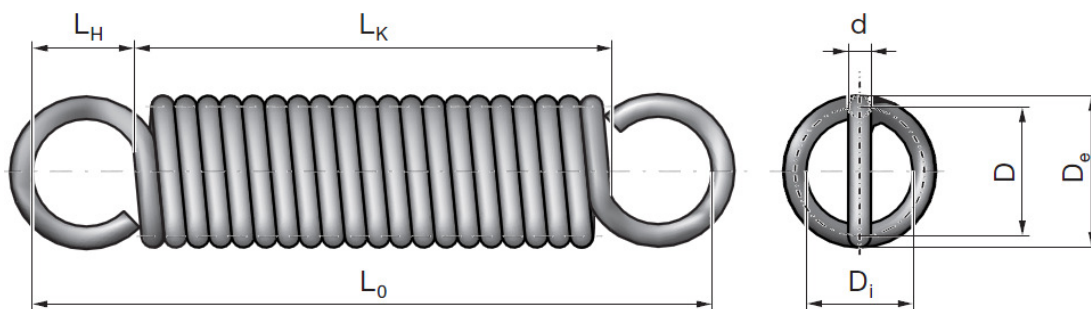
Obr. 35 Úhlová kompenzace



Obr. 36 Kompenzace nepřesného najetí od výchozí osy

Konektor vracejí do výchozí polohy tažné pružiny (v případě úhlové kompenzace) a tlačné pružiny (v případě posunu od výchozí osy).

Volba pružin byla závislá především na jejich rozměrech a byly proto vybrány tak, aby se byly schopny dostatečně stlačit, či roztáhnout a aby nedocházelo ke kolizi s kompenzátorem. Zároveň ovšem byly voleny tak, aby byly silově co nejslabší a nezpůsobovaly tak při případnému nepřesnému najetí robotu zbytečné problémy při překonávání jejich silových účinků. Pro kompenzátor byly použity dvě stejné tažné pružiny a dvě stejné tlačné pružiny.



Obr. 37 Tažná pružina

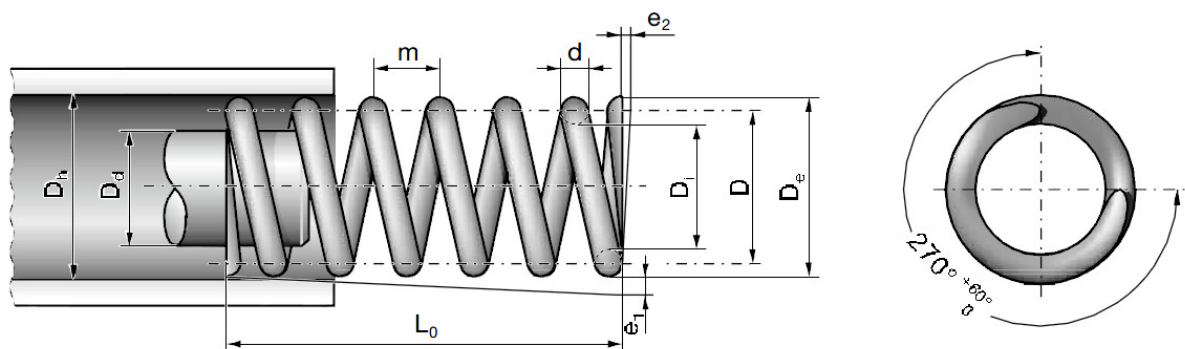
Rozměry: $d = 0,3 \text{ mm}$; $D_e = 3,2 \text{ mm}$; $L_0 = 11 \text{ mm}$; $L_k = 6,5 \text{ mm}$; $L_H = 2,3 \text{ mm}$; $L_N = 28,4 \text{ mm}$

Tuhost pružiny: $R = 0,14 \text{ N/mm}$

Síla vyvinutá pružinou ve volném stavu při L_0 : $F_0 = 0,3 \text{ N}$

Síla vyvinutá pružinou ve stavu plně zatíženém L_n : $F_n = 2,8 \text{ N}$

Hmotnost: $M = 0,11 \text{ g}$



Obr. 38 Tlačná pružina

Rozměry: $d = 0,2 \text{ mm}$; $D_e = 3,2 \text{ mm}$; $D = 3 \text{ mm}$; $D_i = 2,8 \text{ mm}$; $L_0 = 10,3 \text{ mm}$; $L_n = 2 \text{ mm}$

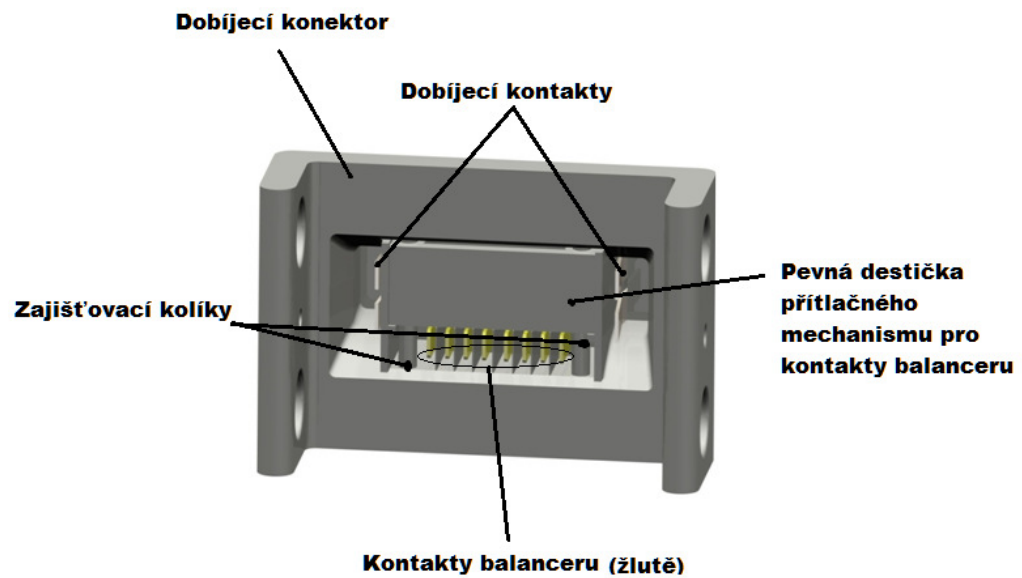
Tuhost pružiny: $R = 0,09 \text{ N/mm}$

Síla vyvinutá pružinou ve stavu plně zatíženém při L_n : $F_n = 0,8 \text{ N}$

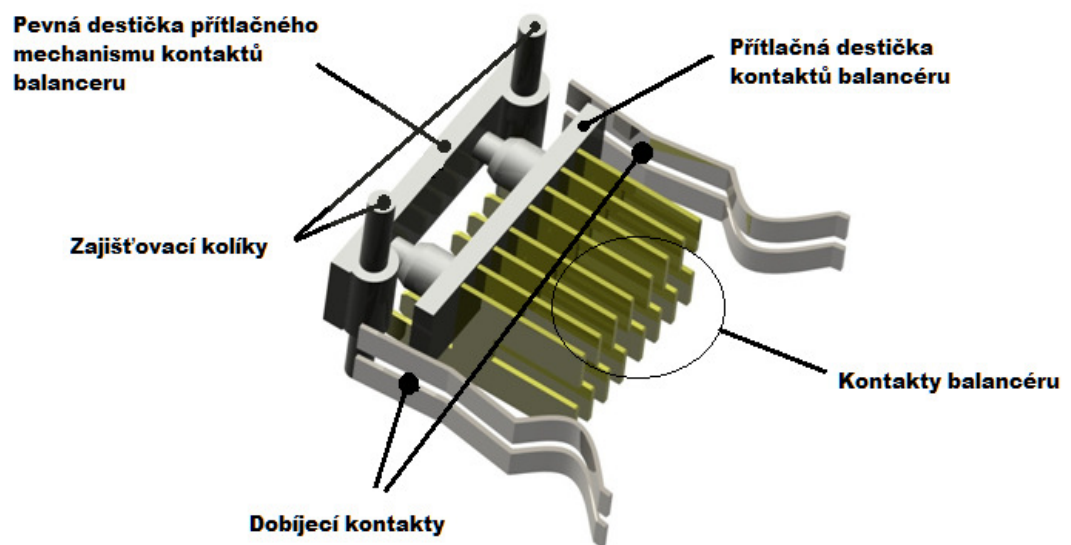
Hmotnost: $M = 0,02 \text{ g}$

8.2.3 Vnitřní uspořádání dobíjecího konektoru

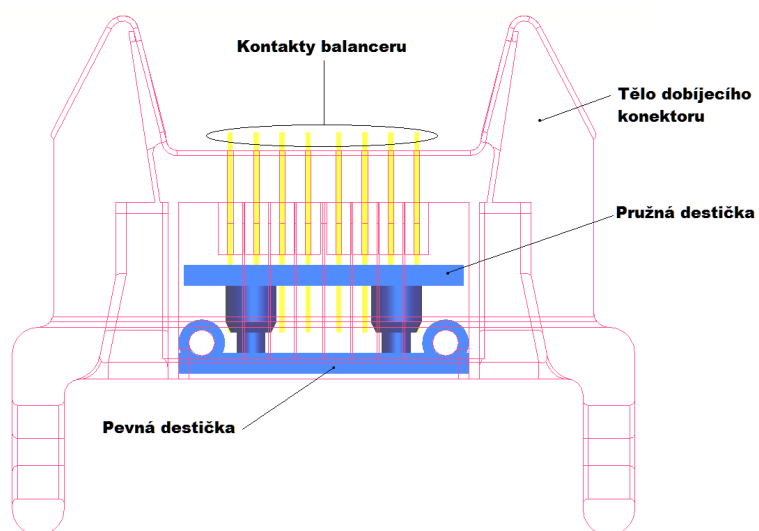
Zadní část konektoru je snadno přístupná pro napojení akumulátoru. Skládá se z osmi pružných kontaktů balanceru, jejichž pružnost je zajištěna díky tlačné a pevné destičce, mezi nimiž jsou tlačné pružiny. Pevná destička je zajištěna pomocí kolíku a je tedy vůči konektoru nepohyblivá.



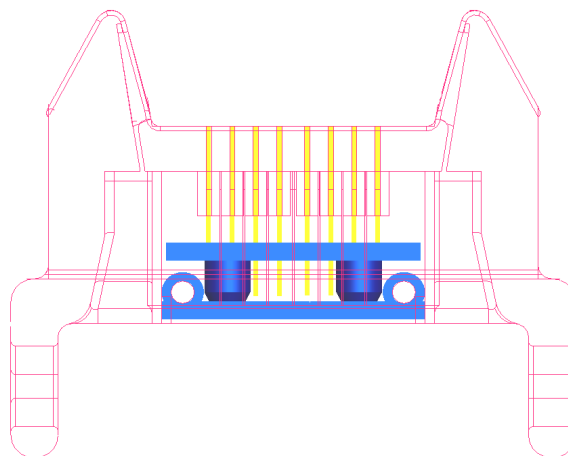
Obr. 39 Dobíjecí konektor – pohled zezadu



Obr. 40 Vnitřní uspořádání kontaktů dobíjecího konektoru



Obr. 41 Pozice kontaktů balanceru v rozpojeném stavu

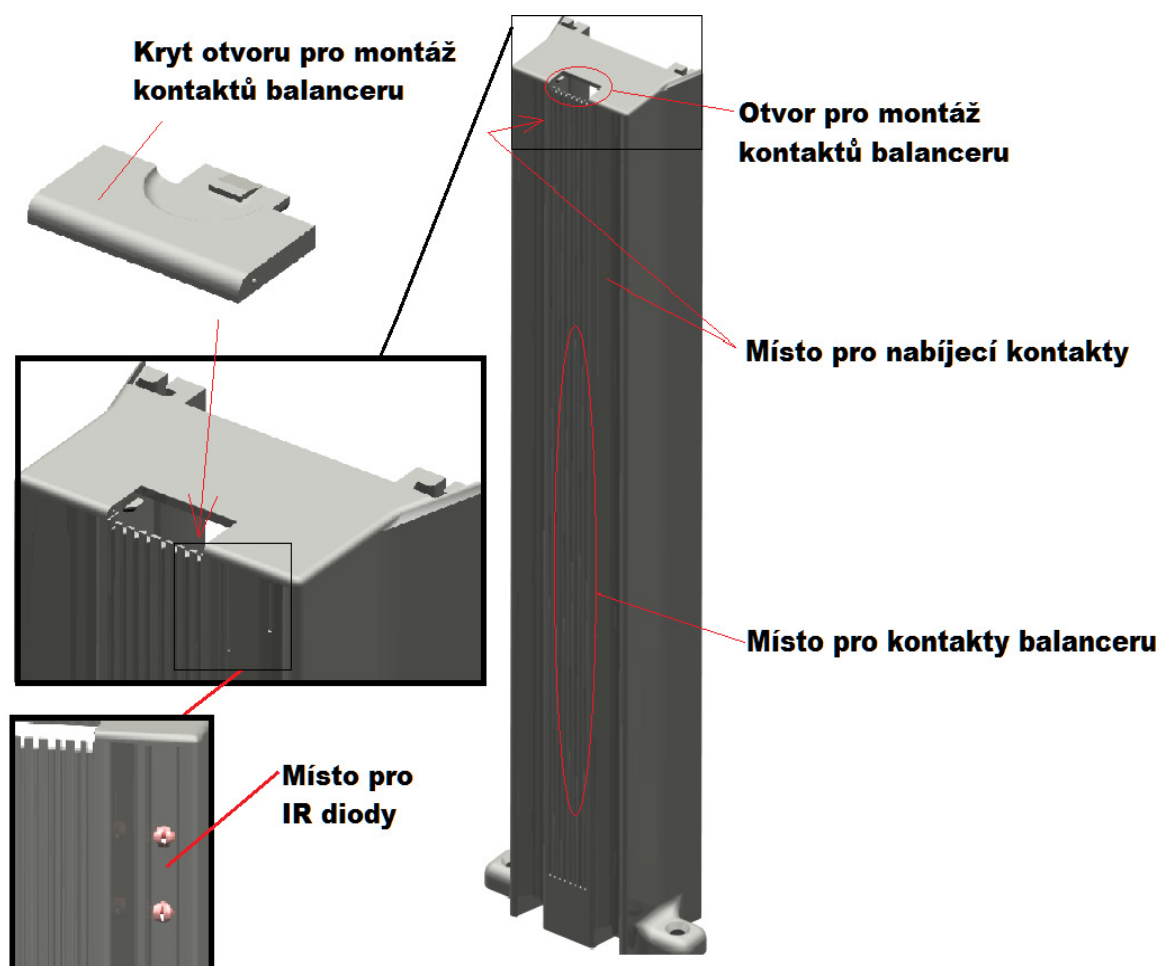


Obr. 42 Pozice kontaktů balanceru při spojení dobíjecího konektoru s dobíjecí základnou

Kontakty balanceru vystupují 2mm ven z konektoru pokud není spojen s dobíjecí základnou. Při spojení s dobíjecí základnou se zasunou o 2mm, resp. do roviny se stěnou konektoru která doléhá na kontakty balanceru na dobíjecí základně.

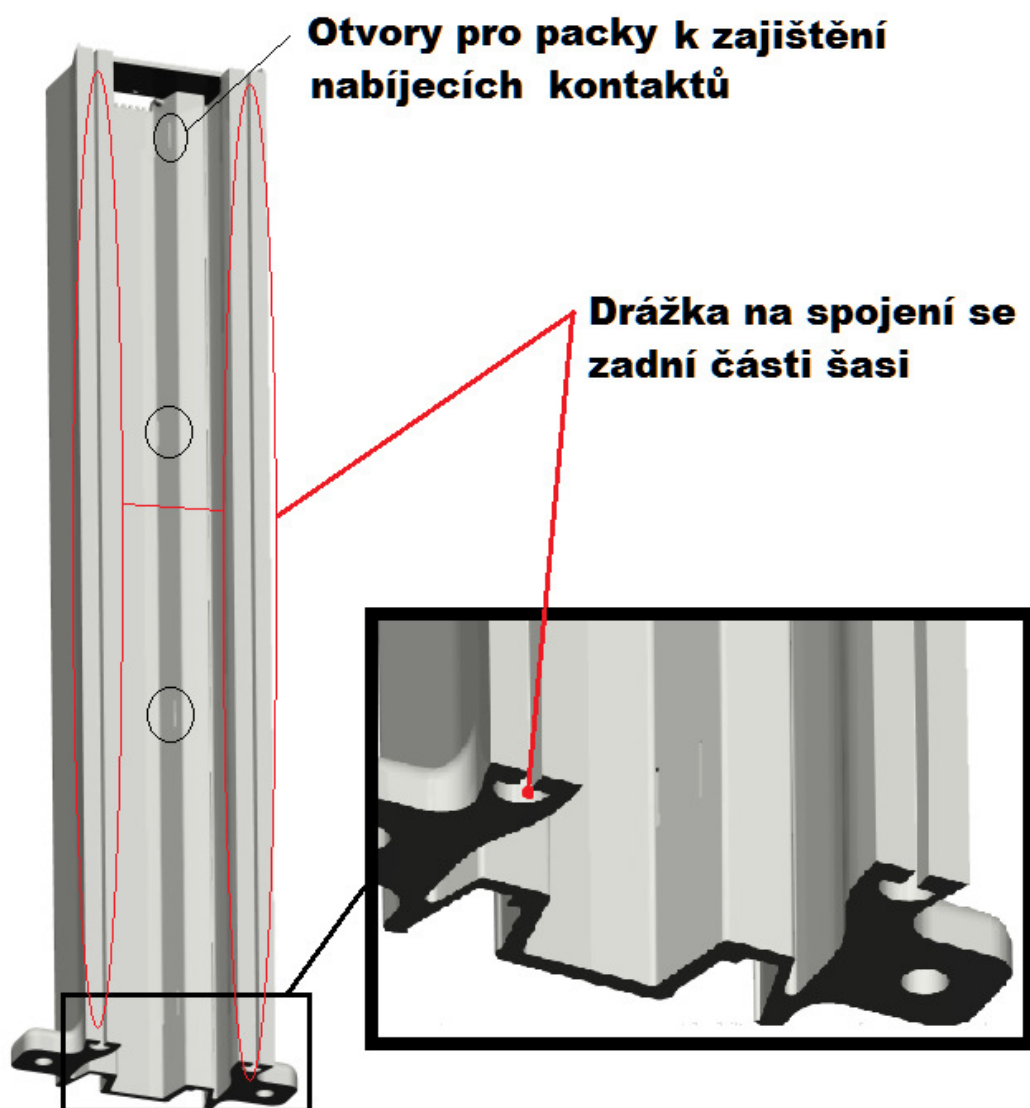
8.2.4 Dobíjecí základna

Šasi dobíjecí základny se skládá ze dvou hlavních dílů. Přední část šasi a zadní část šasi. Ty jsou spolu spojeny díky spoji ve tvaru pera a drážky, které do sebe zapadají.



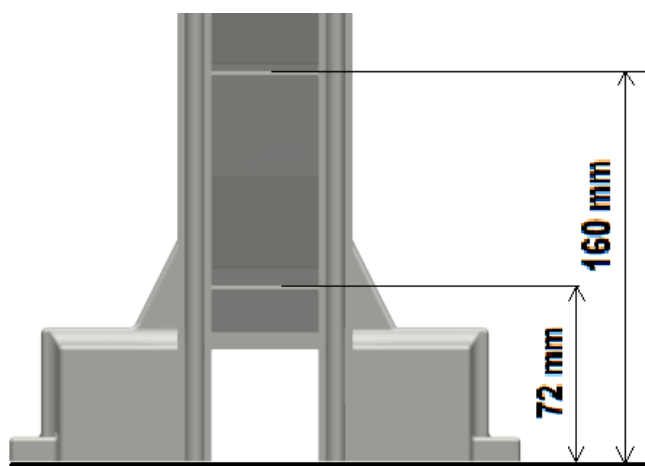
Obr. 43 Přední část šasi základny zepředu

Na přední části šasi jsou připevněny kontakty balanceru a nabíjecí kontakty. Nabíjecí kontakty jsou zajištěny packama, které jsou prostrčeny skrz otvory v místě pro nabíjecí kontakty a uvnitř jsou zahnuty, aby nevypadly. Kontakty balanceru jsou strčeny na své místo vrchem, kde je otvor pro montáž kontaktů balanceru. Ty jsou pak zajištěny krytem otvoru. IR diody jsou umístěny na svém místě tak, aby byly v přímé viditelnosti s přijímačem IR signálu na dobíjecím konektoru.

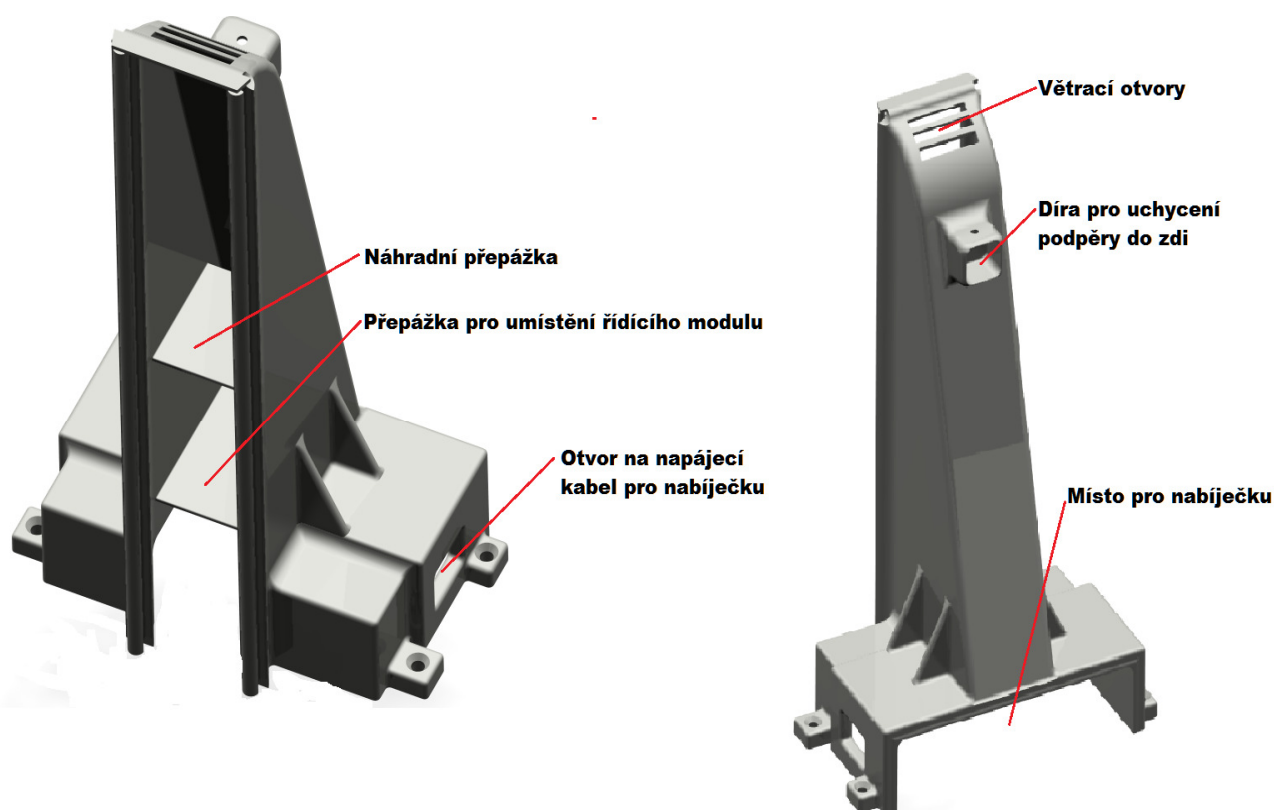


Obr. 44 Přední část šasi základny ze zadu

Zadní část šasi dobíjecí základny slouží především jako kryt nabíječky, řídicího modulu a kabeláže. V horní části jsou otvory pro odvětrání teplého vzduchu ven ze základny, uvnitř jsou dvě přepážky, sloužící jako zpevnění základny, na jedné z nich je uchycen řídicí modul a druhá je rezervní. Výška přepážky pro řídicí modul je 62 mm, výška rezervní je 160 mm. Spodní rozšířená část je zpevněná a je pod ní schovaná nabíječka. Z boku je otvor pro připojení přívodu elektrického proudu.



Obr. 45 Pozice přepážek



Obr. 46 Zadní část šasi dobíjecí základny

Na zadní části šasi, je také díra pro uchycení podpěry pro montáž do zdi. Celé šasi je přišroubováno k ocelovému podstavci pomocí šesti šroubů.

8.2.5 Výkonový nabíjecí modul

Aby bylo zajištěno plně automatické nabíjení, je třeba vyrobit na základě požadovaných nabíjecích vlastností výkonový nabíjecí modul, který skládá se ze dvou na sobě závislých zařízení, výkonové a řídicí části. Výkonová část se stará o nabíjecí procesy a řídicí se stará o identifikaci typu nabíjeného akumulátoru a nastavení parametrů pro

identifikovaný typ akumulátoru, navádění robotu a taky o postup nabíjení. Řídící část je zároveň propojena s IR diodami naváděcího systému, čtečkou čárových kódů a stavové LED.

Napájecí napětí	Síťové 230 V / 50Hz
Typ akumulátorů a počet článků pro nabíjení	1 – 18 niklkadmiových (NiCd) a niklmetalhydridových (NiMH) 1 – 6 lithiumpolymerových (Li-poly), lithiumiontových (Li-ion) nebo lithium-železo (Li-Fe) 1 – 12 olověných (2 V na článek)
Nabíjecí proud	0,1 – 10,0 A
Nabíjecí proud	0,1 – 5,0 A
Udržovací nabíjení	vypnuto nebo 50-200 mA pro NiCd, NiMH a Pb
Ukončení nabíjení	delta-peak pro NiCd a NiMH akumulátory (nastavitelná citlivost 5-20mV/článek) mezni napětí pro Li-ion/Li-poly/Li-Fe (4,1/4,2/3,6V na článek) a olověné akumulátory
Ukončení nabíjení	Nabíjení/vybíjení nebo vybíjení/nabíjení, max. 5 cyklů

Tab. 10 Požadavky vlastností nabíjecí části

8.2.6 Čtečka čárového kódu

Použitá čtečka čárového kódu firmy SICK - ICR803 je upevněna naspod dobíjecí stanice pod kontakty balanceru. Byla vybrána hlavně díky svým malým rozměrům.

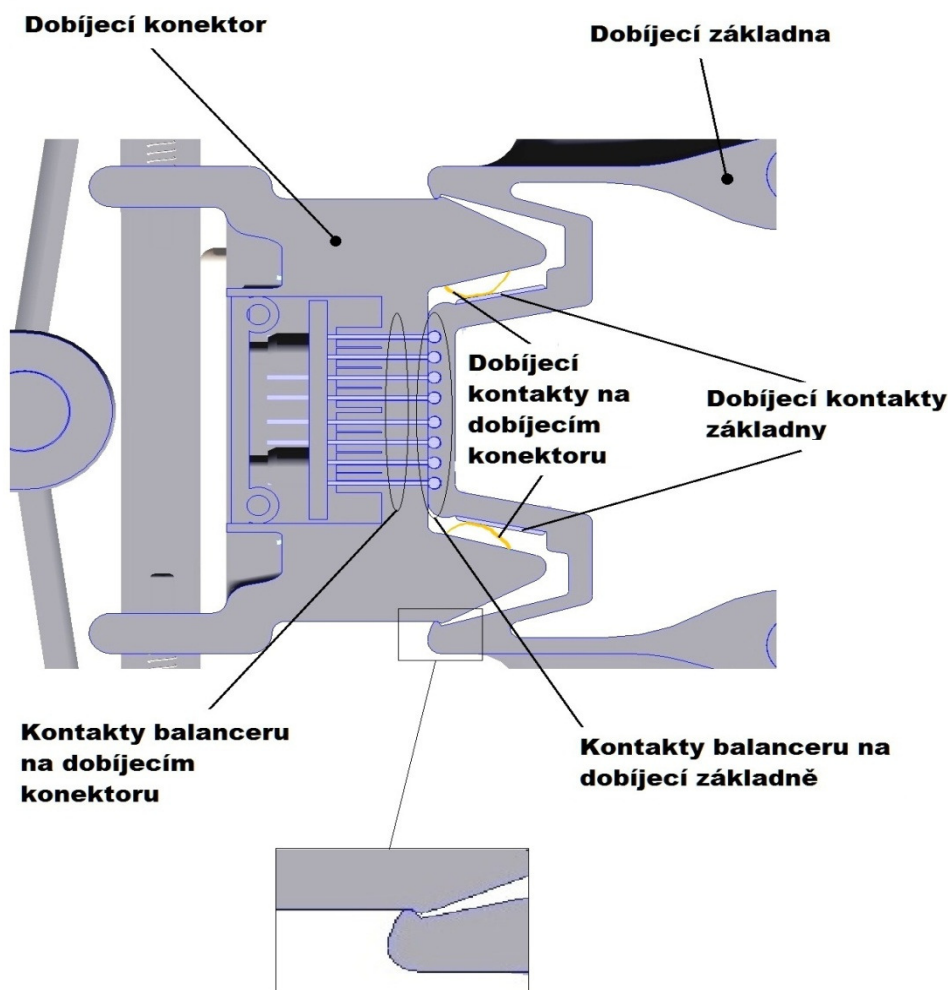


Obr. 47 Čtečka čárového kódu

LED osvětlení	Viditelné červené světlo (630 nm)
LED ukazatel	Viditelné zelené světlo (530 nm)
Odolnost proti osvětlení	Max. 100 000 lx
Rozlišení	752x480 pixelů
Rozhraní	RS 232
Napájení	5 V
Rozměry	49 x 40 x 25 mm
Provozní teploty	0 až 50°C

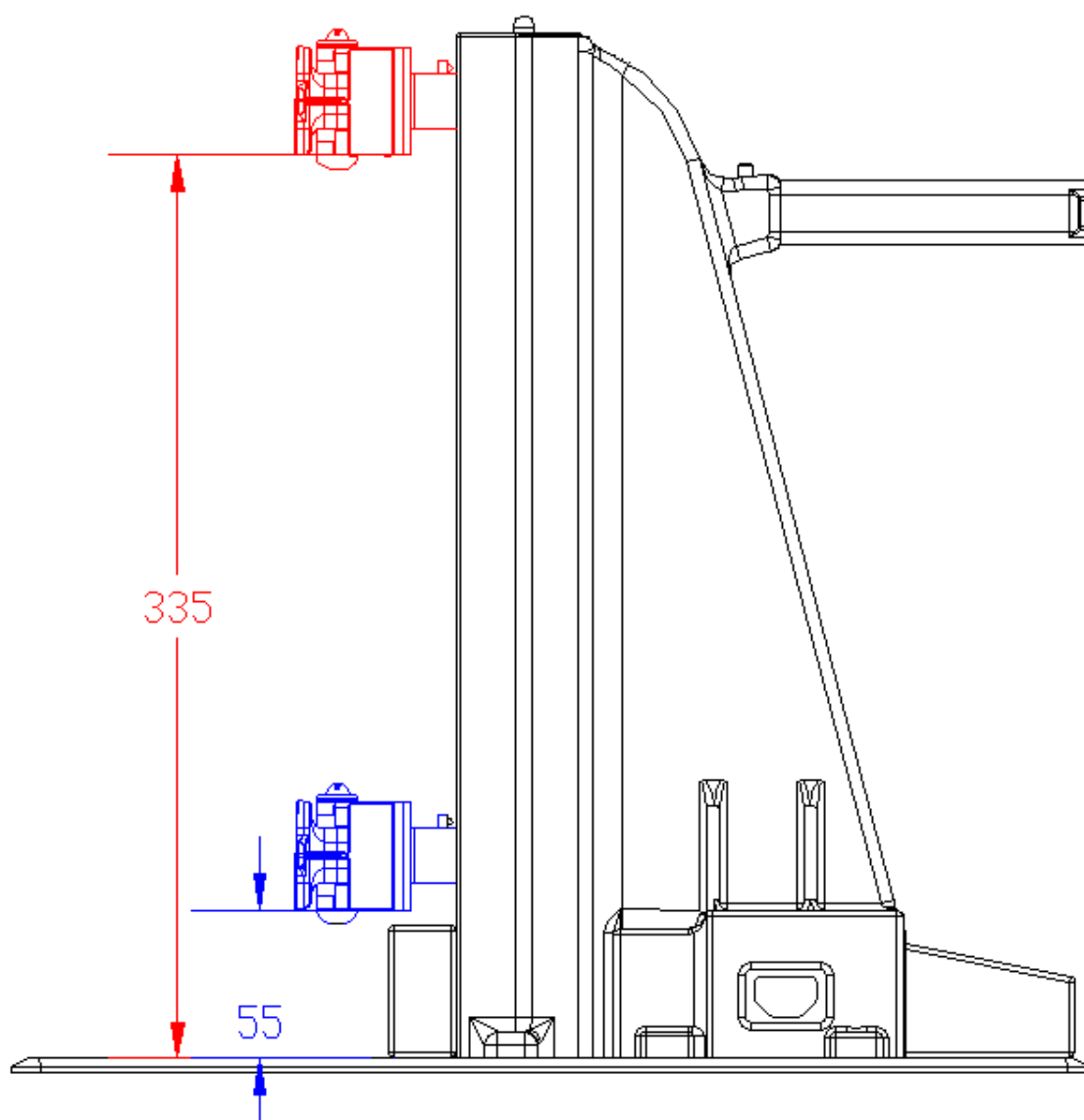
Tab. 11 Technické parametry čtečky čárových kódů

8.3 Spojení konektoru se základnou



Obr. 48 Dosed konektoru do dobíjecí základny

Zajištění proti případnému odpojení brání zacvakovací mechanismus v podobě malých výstupků po bocích konektoru a v kolejnici dobíjecí základny. Síla potřebná ke spojení kontaktů, resp. k bezpečnému spojení dobíjecího konektoru a dobíjecí základny, je určena silou působení přitlačné destičky na kontakty balanceru, která je při jejich maximálním stlačení 2 N a silou potřebnou k roztažení konstrukce sloupu dobíjecí základny o 0.7 mm na každé straně. Velikost této síly byla vypočtena v programu Ansys Workbench. Její hodnota je přibližně 9 N. U reálného modelu se budou hodnoty lišit, v závislosti na přesnosti výroby výstupku pro zajištění a jiných mechanických vlastnostech použitého materiálu v důsledku možných vnitřních vad při tisku součástí. Tento nedostatek lze vyřešit opracováním (zbroušením) hrany na dobíjecím konektoru, nebo na sloupu. Aby nedošlo k rozpojení vlivem odporu kontaktů měla by být síla potřebná pro spojení dle mé volby aspoň trojnásobek síly kontaktů.



Obr. 49 Maximální a minimální výšková poloha dobíjecího konektoru

Dobíjecí konektor je nutno na nabíjeného robota umístit tak, aby spodní hrana držáku kompenzátoru byla ve výšce v rozmezí 55 až 335 mm. Minimální výška je určena z hlediska správné funkce laserové čtečky čárových kódů a maximální výška je omezena z důvodu výšky dobíjecí základny.

9. Identifikace akumulátorů

Zespodu nabíjecího konektoru je přilepena nálepka s čárovým kódem, na jehož základě si nabíjecí stanice díky čtečce čárových kódů určí, o jaký typ akumulátoru se jedná a podle toho nastaví nabíjecí hodnoty.



Obr. 50 Čárový kód

První číslice je přiřazena typu akumulátoru: Li-Ion, Li-Pol, Ni-MH, Ni-Cd, Pb

První čtyřčíslí udává hodnotu nabíjecího napětí

Druhé čtyřčíslí udává hodnotu nabíjecího proudu

Zbývající čtyři čísla jsou navíc jako rezerva.

Příklad uložení hodnot proudů a napětí:

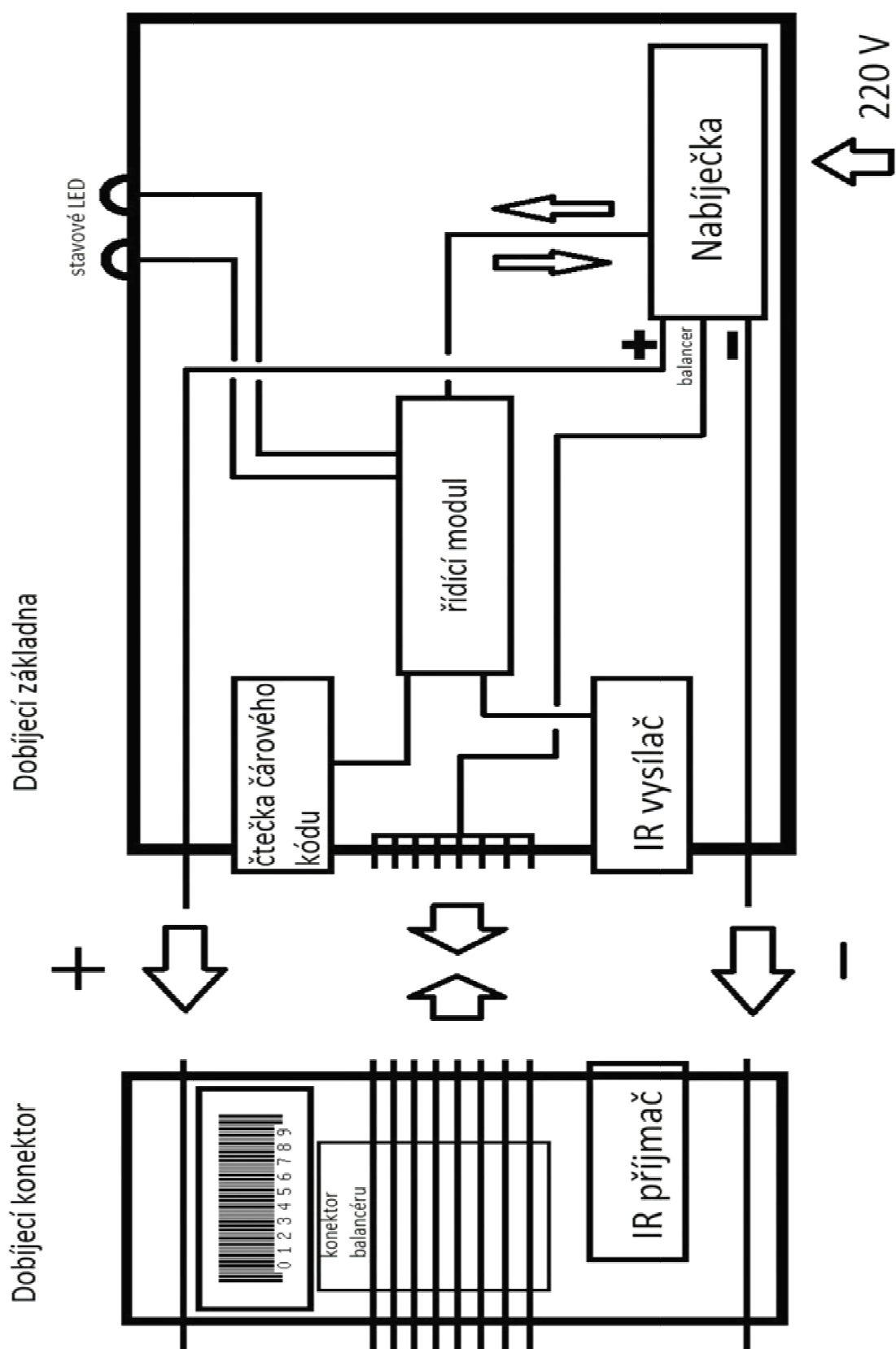
14,8 V: zápis 1480 rozsah: 0,01 V až 99,99 V

2,2 A: zápis 2200 rozsah: 0,001 A až 9,999 A

Typ akumulátoru	První číslice
Li-Ion	1
Li-Pol	2
Ni-MH	3
Ni-Cd	4
Pb	5

Tab. 12 Značení typu akumulátoru

10. Blokové schéma



Obr. 51 Blokové schéma zapojení

11. Výroba a montáž

Všechny polykarbonátové díly jsou vyrobeny metodou 3D tisku, k čemuž stačí 3D model vytvořený v programu Pro/ENGINEER a následně převedený do formátu STL. Po vytištění polykarbonátových částí je nutno některé plochy dodatečně opracovat. Jedná se zejména o funkční plochy, jako jsou vodítka na kompenzátoru, kluzná pouzdra na přitlačném mechanismu kontaktů balanceru, polykarbonátový čep, po případě také upravit pero zadní části šasi tak, bych šla snadno spojit s přední částí šasi, pokud by se vyskytl problém u skládání. Jelikož se jedná o materiál „polykarbonát“ lze tuto úpravu provést poměrně snadno brusným papírem. Po těchto případných úpravách počítám s dodatečným promazáním všech pohyblivých částí. Smontování dobíjecího konektoru a kompenzátoru je zajištěno díky dvěma samostatným dílům, ze kterých se kompenzátor skládá (kromě držáku kompenzátoru). Vodítka dobíjecího konektoru jsou vsazeny do zahloubení v protikuse a v něm zalepeny, mohou být ovšem po odvrtání děr v místě spoje k sobě přišroubovány.

12. Ekonomické zhodnocení

Cenu za polykarbonátové díly a šasi uvádím jako jednotnou, její hodnota je určena objemem použitého materiálu a strojovým časem 3D tiskárny. Cena byla vypočítána na základě těchto hodnot v příslušném programu. Do ceny nejsou zahrnuty dobíjecí kontakty a kontakty balanceru na základně, ani na dobíjecím konektoru. Taktéž není do ceny zahrnuta práce za montáž dobíjecí stanice.

	Komponent	Počet kusů	Cena (Kč)
1	Polykarbonátové díly a šasi	--	28 244,-
2	Šroub se zapuštěnou hlavou M6 x 10mm	6	2,5,-
3	Výkonový nabíjecí modul	1	Cca 4 800,-
4	Čtečka čárových kódů SICK – ICR803	1	3 800,-
5	Pružina tažná, drát 0,3mm, průměr 3,2mm, délka 11mm	2	16,-
6	Pružina tlačná, drát 0,2mm, průměr 3,2, délka 10mm	2	8,-
7	Pružina tlačná, drát 0,2mm, průměr 2,7mm, délka 5,4mm	2	3,-

Tab. 13 Ceny součástí a dílů

Cena za materiál ke zhotovení šasi je 12 044 Kč. Cena za strojový čas je 16 200 Kč.

Celková cena za dobíjecí stanici je: 36 874 Kč.

13. Závěr

Předmětem bakalářské práce bylo provést přehled energetických zdrojů používaných v mobilní robotice. Nejpoužívanější energií je elektrická energie. Díky akumulátorům je možno tuto energii ukládat a kdykoliv to bude nutné ji využít. Byl proveden přehled nejpoužívanějších typů akumulátorů, na jehož základě můžeme vybrat pro příslušného robota ten nejvhodnější. Současně byly vypracovány zásady péče o nejpoužívanější akumulátory a byli jsme seznámeni s problematikou nabíjení. V konstrukční části bakalářské práce pak bylo zadáno navrhnout integrovaný dobíjecí systém mobilních robotů. Byl proveden rozbor současného stavu a na jeho základě byly navrženy tři varianty. Z výsledků hodnotové analýzy byla vybrána optimální varianta, následně byla rozpracovaná a konstrukčně navržena. Návrh byl zaměřen na univerzálnost a na integraci tohoto systému na mobilní roboty, jež zatím žádným autonomním dobíjecím systémem nedisponují. Tato dobíjecí stanice je využitelná pro více mobilních robotů, pro které by byla jediná dobíjecí základna. Každý robot by měl svůj vlastní dobíjecí konektor, který by se pro daný typ mobilního robotu nakonfiguroval. Rozšíření tohoto systému na více robotů je za předpokladu, že se vyrobí již jen další dobíjecí konektory a nakonfiguruje se pro dané typy akumulátorů řídicí část dobíjecí stanice. Díky použitému typu dobíjecího modulu, se dobíjecí stanice hodí pro široké spektrum akumulátorů a umožňuje jejich přesné a kvalitní nabíjení. Dobíjecí stanice umožňuje díky sloupovému provedení nabíjet různě vysoké mobilní roboty, což dále rozšíří možnosti využití na různé typy mobilních robotů. Dobíjecí základnu lze postavit na určené místo, v případě potřeby ji lze také napevno zakotvit pomocí šroubů k zemi a do zdi. Metodu výroby šasi a dobíjecího konektoru jsem zvolil, i přes její vysokou cenu, z důvodu abych demonstroval možnosti výroby různých konstrukčních prvků pomocí moderních výrobních technologií. Předpokládám realizaci výkonového dobíjecího modulu, který byl specifikován potřebnými funkcemi a nabíjecími schopnostmi pro univerzální autonomní dobíjecí systém mobilních robotů. Realizace výkonového dobíjecího modulu není předmětem této práce, její vývoj zahrnuje odborné znalosti elektroniky a řízení.

Použitá literatura

Tištěná:

- [1] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*, Ostrava, 2005. ISBN 80 – 7078 – 304 - 4
- [2] LEINVEBER, J. – VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*, Praha, 1996, ISBN 80-7183-008-9
- [3] BAGOCKIJ, V.S. – SKUNDIN, A.M. *Elektrochemické zdroje proudu*, Praha 1987,
- [4] Magazín informačních technologií, *Chip*, Praha 2002, ISSN 1210-0684

Elektronická:

- [5] Seznam použitých zdrojů v kapitolách 1 až 4:

http://www.mjauto.cz/alternator_starter.htm

<http://www.energymatters.com.au/haze-gel-vrla-traction-battery-12volt-67ah-ev-p-123.html>

http://www.rccarsandtrucks.co.uk/548_1.html

<http://www.blogonsmog.com/motor-monday/compressed-air-car-another-alternative.html>

http://www.astro-grpr.wz.cz/ihy/files/fyzikalni_teorie.html

http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Galvanick%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek.svg

http://www.ifotovideo.cz/rubriky/technika/napajeni/napajeci-clanky-akumulatory-nabijecky-i-dil_638.html

- [6] [elektronické součástky].GM electronic

<http://www.gme.cz/cz/>

- [7] [čtečka čárových kódů].SICK

<http://sick.cz/cz/cs.html>

- [8] [akumulátory].Bateria

<http://www.bateria.cz/>

2010

[9] [akumulátory].E-Battery expert

<http://www.battery.cz/baterie-info>

[10] [pružiny].Hennlich

<http://www.hennlich.cz/index.php?f=1541>

[11] [nabíječka].Hobby e-shop

<http://www.hobbyeshop.cz/inshop/nabijecky-a-balancery/id-1MB1003+nabijecka-e-station-bc6-dual-power.html>

[12] [pohonné hmoty]. Wikipedie otevřená encyklopedie

http://cs.wikipedia.org/wiki/Pohonn%C3%A9_hmoty

Seznam příloh

Příloha 1: Sestavný výkres dobíjecí základny

Příloha 2: Sestavný výkres dobíjecího konektoru s kompenzátorem

Příloha 3: Sestavný výkres dobíjecího konektoru.

Příloha 4: CD-ROM: Stanek, R. Bakalářská práce 2010